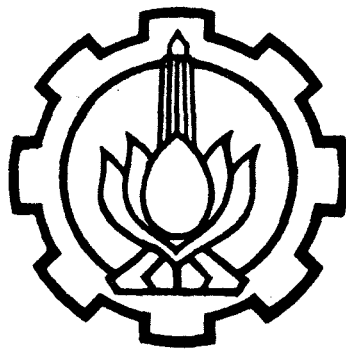
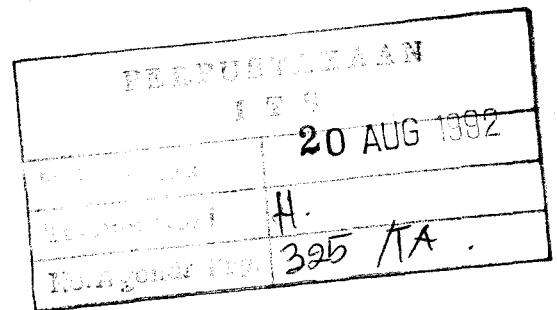


4072/TS/H/92 ✓
TUGAS AKHIR (TL 1701)

ANALISA STRUKTUR KOMPOSIT



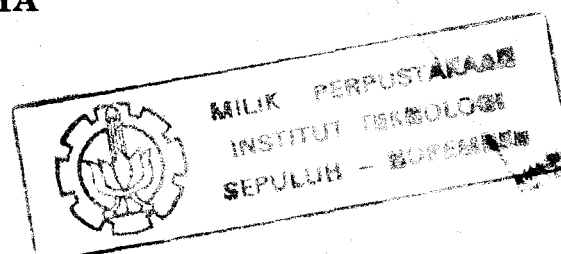
25Ke
620.113
Prn
A-1
1992.

Oleh :

SUGENG PRAMONO
NRP. 4864300086

PROGRAM STUDI TEKNIK KELAUTAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

1992



Lembar Pengesahan

**Menyetujui,
Dosen Pembimbing**

Handayani
6/8/22

Ir. Handayani, M.Sc

ABSTRAK

Plat komposit berlapis mempunyai sifat orthotropis, hal ini disebabkan oleh karena sifat elastis bahan yang tidak sama dalam segala arah dan konfigurasi yang menyusunnya. Sifat elastis bahan ini sangat dipengaruhi oleh serat yang berfungsi sebagai reinforcing filler.

Untuk menganalisa struktur plat komposit berlapis dengan Metode Elemen Hingga perlu diadakan modifikasi terutama penurunan matrik **STRESS - STRAIN** untuk bahan yang mempunyai sifat isotropis. Penurunan matrik tersebut didasarkan pada teori plat berlapis (*laminated plate theory*).

Dari hasil analisa kita dapatkan bahwa pada kondisi pembebanan tertentu perubahan orientasi serat akan mengakibatkan perubahan konsentrasi tegangan. Dengan demikian kita dapat merencanakan struktur dengan bahan komposit dengan mengatur orientasi serat sesuai dengan arah dan jenis pembebanan yang akan bekerja pada struktur tersebut.

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberi rahmat dan karunia, sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Kesemuanya ini berkat bimbingan dan dukungan dari semua pihak baik langsung maupun tidak langsung.

Tugas akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan kurikulum yang wajib dijalani oleh setiap mahasiswa Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan ITS Surabaya.

Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Danet Suryatama, MSc dan Bapak Ir. Handayanu, MSc selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar memberikan pengarahan dan dorongan selama penulisan tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Arief Suroso, MSc, selaku dosen wali.
3. Bapak Ir. Asjhar Imron, MSC, MSE, PED selaku kepala laboratorium komputasi FTK-ITS yang banyak memberikan kemudahan dalam pemakaian komputer.
4. Bapak- bapak Dosen FTK-ITS yang telah banyak berjasa kepada penulis.

5. Ibu, Bapak, Kakak dan adik yang tercinta yang telah banyak memberikan bantuan doa, dorongan dan materi selama penulis menempuh pendidikan.
6. Rekan-rekan Angkatan '86 FTK-ITS yang selalu bersama dalam suka dan duka.
7. Rekan-rekan di laboratorium komputasi yang banyak memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Seluruh staf dan karyawan yang ada di lingkungan FTK-ITS.

Penulis menyadari bahwa penulisan ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu saran dan kritik yang membangun sangat diharapkan.

Akhir kata, semoga tulisan ini bermanfaat bagi yang memerlukan.

penulis.

DAFTAR NOTASI

$[A]$	= Matrik kekakuan <i>in-plane</i>
$[B]$	= Matrik <i>strain-displacement</i>
$[D]$	= Matrik <i>stress-strain</i>
E	= Young modulus
$\{\epsilon\}$	= Vektor regangan
G	= Shear modulus
$[J]$	= Jacobian matrik
$[K]$	= Matrik kekakuan struktur
$\{\kappa\}$	= Vektor kelengkungan
$\{M\}$	= Vektor momen persatuan tebal
N_k	= Shape function pada simpul k
$\{N\}$	= Vektor gaya persatuan tebal
P_n	= Harga beaban normal pada simpul k
ρ_c, ρ_f	= Masa jenis komposit, masa jenis fibre
$\{R\}$	= Vektor displasemen struktur
$[T]$	= Matrik transformasi
θ	= sudut antara arah utama serat dengan sistem koordinat global
u, v	= Diasplasemen kearah x dan y

V_f, V_c = Volume fraction, Volume komposit

ν = poisson rasio

ζ, η = Koordinat pada sistem koordinat natural

x, y = sistim sumbu koordinat cartesian

DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR NOTASI	v
BAB. I PENDAHULUAN	
I.1 LATAR BELAKANG	I-1
I.2 TUJUAN	I-8
I.3 BATASAN MASALAH	I-8
I.4 METODE PENYELESAIAN	I-9
BAB II MATERIAL KOMPOSIT	
II.1 UMUM	II-1
II.2 REINFORCING FILLER	II-2
II.3 TYPE MATRIX	II-6
II.3 SIFAT ORTHOTROPIS KOMPOSIT	II-8
BAB III TEORI PLAT BERLAPIS DAN FORMULASI M.E.H.	
III.1 TEORI PLAT BERLAPIS	III-1
III.2 FORMULASI ELEMEN HINGGA	III-3
III.2.1 PERUMUSAN KARAKTERISTIK ELEMEN	III-4
III.2.3 PENURUNAN MATRIK KEKAKUAN	III-15
III.2.4 BEBAN SIMPUL EKIVALEN	III-17
III.3 PENYELESAIAN PERSAMAAN ALJABAR LINIER SIMULTAN	III-19
III.3.1 TEKNIK FRONTAL	III-21
III.3.2 ELIMINASI GAUSS	III-23
III.3.3 PROSES KONDENSASI	III-25

BAB	IV PROGRAM ANALISA PLAT KOMPOSIT BERLAPIS	
	IV.1 PROGRAM ELEMEN HINGGA	IV-1
	IV.1.1 PROGRAM UTAMA	IV-2
	IV.1.2 SABROUTINE INPUT	IV-2
	IV.1.3 SABROUTINE STIFFPS	IV-4
	IV.1.4 SABROUTINE SOLVER	IV-6
	IV.2 DIAGRAM ALIR PROGRAM	IV-6
	IV.3 PENGISIAN FILE DATA	IV-7
	IV.3.1 DATA MASUKAN SABROUTINE INPUT	IV-8
	IV.3.2 DATA UNTUK MATERIAL PROPERTI	IV-8
	IV.4 DAFTAR NAMA VARIABEL	IV-9
BAB	V. KEABSAHAN DAN APLIKASI PROGRAM	
	V.1 KEABSAHAN PROGRAM	V-1
	V.2 APLIKASI PROGRAM	V-3
BAB	VI KESIMPULAN DAN SARAN	
	VI.1 KESIMPULAN	VI-1
	VI.2 SARAN	VI-1
DAFTAR LAMPIRAN		
LAMPIRAN A LISTING PROGRAM		
LAMPIRAN B HASIL RUNNING PROGRAM		
DAFTAR PUSTAKA		

BAB I PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan ilmu dan teknologi dibidang struktur tidak bisa lepas dari perkembangan di bidang ilmu bahan. Perkembangan ilmu bahan ini telah menjadi topik yang utama, baik yang berupa metal maupun non-metal. Banyak penelitian yang telah dan sedang dikembangkan untuk mendapatkan material yang secara teknis maupun ekonomis menguntungkan. Material ini juga harus memberikan kemudahan dalam perancangan, pemasangan, dan perawatan.

Salah satu alternatif jawaban pada tuntutan diatas adalah dengan dikembangkannya material komposit. Latar belakang pemilihan komposit sebagai bahan teknik ini karena mempunyai kekuatan yang tinggi serta berat yang ringan. Hal ini telah diaplikasikan pada bidang Aerospace Engineering yang menuntut material yang kuat dan ringan. Industri Automobil juga telah merintis penggunaan komposit untuk badan dan bagian - bagian tertentu dari mesin mobil. Dari pengalaman yang didapatkan, terbukti komposit mempunyai kemampuan yang disyaratkan untuk bahan

teknik. Komposit dapat digunakan sebagai pengganti aluminium, bahkan dari segi kekuatan dan ketahanan terhadap api komposit dinilai lebih baik dari aluminium.

Komposit dalam hal ini adalah jenis plastik yang diperkuat (reinforced plastic), sehingga kekakuan dan kekuatannya bertambah. Komposit terdiri dari dua komponen utama yaitu matrix yang berupa thermosetting atau thermoplastics dan bahan pengisi (reinforcing filler) yang berupa serat (fibre) dan kadang berupa partikel. Bahan dari serat adalah Glass, Carbon, Boron, Silica. Disamping itu fibre banyak dibuat dari Synthetic Polymer, misalnya Kevlar fibres (aromatic polyimida) dan P E T fibres. Untuk bahan matrix yang berasal dari kelas Thermoplastics adalah Polyvinyl Chlorida (PVC), Nylon, Polyethylene, Polystyrene, Cellulose, Acetal, dan lain-lain. Sedangkan yang berasal dari kelas Thermosetting adalah Phenol formaldehyde, Polyesters, dan Epoxy. Pada umumnya matrix mempunyai kekuatan yang rendah dibandingkan dengan fibre yang mempunyai sifat stiffer dan brittle. Fungsi dari matrix adalah sebagaipendukung fibre dan meneruskan beban pada fibre.

Pemilihan bahan untuk komposit ini tergantung dari aplikasi dan kondisi lingkungan (enviromental condition).

Serat gelas (fibre glass) adalah jenis serat yang banyak dipakai. Ini disebabkan karena fibre glass mempunyai kekakuan dan kekuatan yang baik serta relatif lebih murah dibandingkan dengan Aramid (Kevlar) atau Carbon. Serat gelas ini juga mempunyai ketahanan yang baik terhadap beban kejut, dapat dikombinasikan dengan berbagai jenis matrix yang ada, beratnya 66% lebih ringan dari baja serta tahan terhadap lingkungan yang korosif.¹⁾

Serat Carbon mempunyai ketahanan yang baik terhadap kelelahan. Kekuatan tariknya lebih baik dari serat gelas serta tahan terhadap lingkungan yang korosif. Sebaliknya Carbon tidak tahan terhadap beban kejut, dan harganya relatif mahal dibandingkan dengan serat gelas.

Aramid misalnya Kevlar-49 mempunyai sifat mampu menahan beban kejut, ketahanan terhadap kelelahan dan lingkungan yang korosif. Kelemahannya adalah kemampuan dalam menahan beban tekan. Hal ini yang membatasi pemakaian Kevlar sebagai bahan komposit.

Untuk matrix yang biasa dipakai adalah Epoxy. Epoxy banyak digunakan dalam lingkungan laut karena mempunyai sifat mekanis yang baik, mampu berfungsi dengan baik pada temperatur tinggi ($>120^{\circ}\text{C}$ / 250°F) serta mudah diproses.

Untuk memperoleh hasil yang optimum, kelebihan dan kekurangan berbagai macam bahan tersebut dapat dikombinasikan dalam suatu sistim penggabungan yang disebut sistem hibrida. Sistem ini dilakukan dengan membuat material berlapis (laminat) yang terdiri dari matrix dan serat yang berbeda. Tebal tiap lapis serta arah dari serat antar tiap lapis dapat dibuat berlainan. Sebagai contoh suatu laminasi E-Glass/Epoksi mempunyai kekuatan tarik sekitar 11249 Kg/Cm, yaitu dua kali kekuatan tarik baja karbon A36 (5625 Kg/Cm). Keuntungan lain dari pemakaian komposit adalah daya serapnya yang rendah terhadap uap. Adanya uap yang terserap akan mengurangi sifat-sifat mekanis komposit pada temperatur tinggi. Selain itu pemilihan material komposit cukup tepat untuk daerah dingin dimana biasanya baja alloy yang mahal diperlukan untuk mendapatkan sifat kekenyalan yang diperlukan. Material komposit masih berkelakuan baik pada temperatur -65 F (-18,3 °C).

Selama ini material komposit telah banyak dipergunakan untuk berbagai jenis bangunan lepas pantai. Penerapannya terutama untuk jenis bangunan yang beroperasi di perairan dalam. Hal ini dilakukan untuk penghematan modal dan biaya produksi. Material komposit dapat dipakai pada riser dan tether dari Tension Leg

Platform. Ini bukan berarti bahwa komposit tidak layak diaplikasikan untuk bangunan yang beroperasi dilaut dangkal. Komposit telah dikembangkan agar dapat dipakai menggantikan baja bagi elemen tubular struktur jacket di laut dangkal.

Aerospatiale dan l'Institut Francais du Petrole telah mengadakan riset dan pengembangan elemen tubular komposit sejak tahun 1978. Proyek ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang cocok dengan panjang sampai 25m dengan diameter yang besar. Hasil pertama diterapkan untuk pipa komposit pada tahun 1983. Penerapan proyek ini untuk riser komposit, menghasilkan penghematan biaya antara \$1.5 - \$10 juta untuk sistem pada kedalaman 640m dengan 24 sumur. Penghematan ini akan semakin banyak dengan bertambahnya kedalaman.

Secara umum pemakaian material komposit untuk bangunan lepas pantai adalah untuk sistem perpipaan, tangki - tangki, pressure vessel, sistem pembungkus saluran listrik, drilling derrick, modul akomodasi, wellhead, dll. Karena beratnya yang lebih ringan dari baja atau logam alloy, pemasangan komponen yang terbuat dari komposit dapat dilakukan dengan tenaga manusia, tanpa menggunakan crane. Ini meakan menghemat biaya pemasangan (instalation cost). Demikian juga karena beratnya yang

ringan maka dimensi dari platform yang memikunya dapat diperkecil. Dengan ini sangat menguntungkan bagi jenis bangunan yang terapung (floating offshore structure). Sebagai ilustrasi, penerapan komposit untuk modul akomodasi dapat menghemat berat antara 30% - 40% pada struktur platform, 15% pada arsitektur dan 20% - 30% secara keseluruhan.

Sifat lain dari komposit yang menguntungkan adalah ketahanannya terhadap api. Ini adalah peran komposit yang terbaru dan paling diharapkan. Pada production platform banyak terdapat instalasi untuk pemrosesan minyak dan gas bumi, pada daerah ini resiko terhadap kebakaran dan ledakan sangat tinggi. Untuk menghindari bahaya ini maka komposit dapat digunakan sebagai sekat tahan api (fire wall) pada modul akomodasi atau koridor - koridor dan life boat. Sekat ini dipasang sebagai dinding dari modul akomodasi atau koridor penyelamat. Dengan adanya sekat ini diharapkan crew dari platform mempunyai kesempatan yang jauh lebih banyak untuk menyelamatkan diri bila terjadi kebakaran. Ketahanan komposit terhadap api ini menjadi perhatian segenap masyarakat perminyakan. Perhatian ini timbul setelah terjadi kecelakaan pada Piper Alpha Platform di North Sea pada 6 juni 1988 yang menewaskan lebih dari 100 crew platform.²⁾

Penerapan komposit dibidang lain adalah pada industri perkapalan. Material komposit digunakan sebagai bangunan atas (super structure) dan kulit kapal. Gading - gading kapal, plat geladak tiang kapal dapat juga dibuat dari komposit. Pemakaian komposit untuk bagian kapal ini akan mengakibatkan pengurangan dimensi dari struktur kapal.

Selain itu komposit dapat pula digunakan dibidang teknik sipil. Serat gelas, carbon, atau Kevlar dapat dipergunakan sebagai pengganti tulangan baja pada struktur beton bertulang. disamping itu komposit dapat digunakan sebagai struktur utama atau rangkap atap gedung. Dari segi arsitektural, penggunaan komposit akan lebih mengintungkan. Dengan dimensi yang sama material komposit mampu memikul bahan yang lebih besar dibandingkan dengan baja atau beton. K e l e m a h a n penggunaan komposit adalah harganya yang masih mahal, hal ini disebabkan oleh biaya produksi pembuatan komposit. Untuk itu perlu dikembangkan metode pembuatan komposit yang mampu menekan biaya produksi, sehingga dapat diproduksi secara masal.

Dari uraian diatas komposit merupakan bahan teknik yang mempunyai prospek yang sangat cerah. Komposit mempunyai karakteristik yang berbeda dengan baja,

sehingga untuk analisisnya diperlukan modifikasi. Untuk analisa material yang mempunyai sifat orthotropis telah tersedia paket program yaitu SAP90, tetapi paket ini mempunyai keterbatasan untuk material yang terdiri dari beberapa lapis. Hal ini melatar belakangi penulis dalam penulisan tugas akhir.

I.2 TUJUAN PENULISAN

1. Membuat program perhitungan untuk plat komposit berlapis dengan ketebalan tiap lapis, jumlah lapisan, orientasi serat yang berbeda.
2. Membandingkan hasil program dengan paket program yang telah ada.

I.3 BATASAN MASALAH

untuk mempermudah analisa, maka pada tugas akhir ini dipakai batasan masalah sebagai berikut :

1. Analisa yang dilakukan masih dalam batas elastis bahan.
2. Analisa hanya untuk masalah plane-stress.
3. Regangan yang terjadi pada tiap lapisan dianggap sama.

I.4 METODE PENYELESAIAN

Metode yang digunakan dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah Metode Elemen Hingga (finite element method) dengan pendekatan teori plat berlapis (laminated plate theory). Metode Elemen Hingga dipilih karena terbukti kehandalannya dalam menghandel masalah struktur. Untuk lebih detail tentang metode ini dapat dilihat pada bab berikutnya.

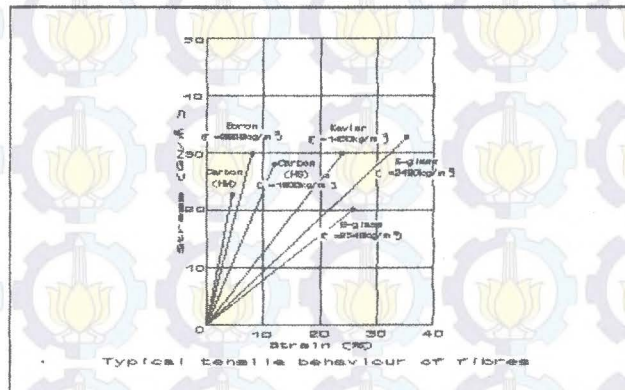
BAB II MATERIAL KOMPOSIT

II.1 UMUM

Telah disebutkan dimuka bahwa kekakuan dan kekuatan dari plastics dapat ditingkatkan dengan menambah bahan pengisi (reinforcing filler). Komposit dalam hal ini sejenis plastics yang diperkuat terdiri dari dua komponen utama yaitu matrix yang terbuat dari thermosetting atau thermoplastics dan bahan pengisi yang biasanya berupa serat (fibres). Pada umumnya matrix mempunyai kekuatan yang rendah bila dibandingkan dengan reinforcing filler yang kaku dan getas. Untuk mendapatkan keuntungan yang maksimum seharusnya fibres sedapat mungkin mampu untuk menahan tegangan yang bekerja. Fungsi dari matrix adalah sebagai pendukung fibre dan meneruskan beban luar pada fibre. Karena fibre dan matrix mempunyai struktur dan sifat (properties) yang berbeda maka sangatlah perlu dijelaskan secara terpisah.

II.2 JENIS BAHAN PENGISI (REINFORCING FILLER)

Bahan pengisi biasanya berupa serat tetapi kadang kadang digunakan juga partikel. untuk bahan serat bisa digunakan amorphous dan crystalline material. Ini termasuk glass, carbon, boron, dan silica. Pada akhir akhir ini fibre diproduksi dari synthetic polymers, sebagai contoh adalah Kevlar Fibres (aromatic polyamides) dan PET fibres. Pemilihan jenis bahan untuk fibre tergantung pada keperluan atau aplikasinya. Sebagai contoh untuk aerospace technologies digunakan glass khusus yang mempunyai kekuatan dan modulus yang tinggi. Pada gambar (II.1) ditunjukkan kekuatan tarik dari berbagai macam jenis fibre.



(gambar II.1)

Selama produksi fibre diperlakukan sebagai fluida yang mempunyai beberapa fungsi diantaranya adalah :

- (a) Memberikan fasilitas produksi strands dari individual fibres
- (b) Mengurangi kerusakan fibres selama penanganan mekanis
- (c) Sebagai pembantu dalam proses moulding.

Perlakuan ini dikenal sebagai sizing. Gabungan antara matrix dan fibre mencapai optimum apabila penguatan menjadi semakin efektif sehingga permukaan lapisan pada glass memastikan bahwa ikatannya baik. Fibre mempunyai diameter yang bervariasi antara $7\text{ }\mu\text{m}$ - $100\text{ }\mu\text{m}$. Fibre ini bisa berbentuk kontinyu atau chopped strands (panjang 3 mm - 50 mm). Kalau menggunakan chopped strands, maka perbandingan panjang terhadap diameter disebut sebagai aspek rasio. Sifat sifat bahan komposit yang mempunyai serat pendek tergantung pada aspek rasio (semakin besar aspek rasio semakin besar kekakuan dan kekuatan dari komposit). Banyaknya fibre dalam komposit dinyatakan dalam volume fraction V_f , yang merupakan rasio volume fibre v_f terhadap volume komposit v_c . Hubungan antara weight fraction dari

fibre, W_f dan volume fraction dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$W_f = \frac{W_f}{W_c} = \frac{\rho_f V_f}{\rho_c V_c} = \frac{\rho_f}{\rho_c} V_f \quad (2.1)$$

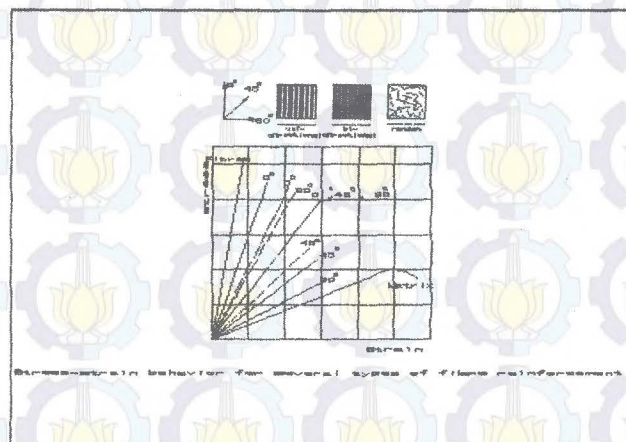
Dimana ρ adalah kerapatan dan subscript f dan c menunjukan fibre dan komposit.

Tabel dibawah ini menunjukkan pengaruh dari jumlah fibre terhadap sifat sifat plastic.

Property	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
density	1140	1210	1280	1370	1460	1570	1700
Tsl.str	0.07	0.09	0.13	0.18	0.21	0.23	0.24
% elg	60	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5	1.5
Flex Mod	2.8	4.2	6.3	9.1	11.2	15.4	19.6
Thermal exp	90	37	32	30	29	25	22
water absr	1.6	1.1	0.9	0.9	0.6	0.5	0.4

(tabel II-1)

Serat (fibre) yang disatukan dengan matrix plastik pada waktu pengecoran dapat diatur arahnya apakah dalam arah memanjang atau dalam arah melintang. Pengaturannya dapat hanya dalam satu arah (**unidirectional**), dua arah yang berbentuk anyaman (**bidirectional**) atau random. Orientasi dari serat ini akan mempengaruhi hubungan dari stress - strain. Pengaturan ini erat kaitanya dengan jenis pembebanan yang akan diterima oleh struktur. Gambar (II.2) menunjukan type dari orientasi serat dan sifat stress - strain serat pada orientasi tertentu.



gambar II.2

II.2 TYPE MATRIX

Type matrix pada komposit bisa berupa thermosetting atau thermoplastic. Berikut akan dibahas mengenai sifat - sifat dari kedua macam matrix ini.

(a) Thermosets.

Pada awalnya semua thermosetting moulding material dikomposisikan dengan bahan penisi seperti woodfloor, mica, cellulose, dll untuk meningkatkan kekuatannya. Meskipun begitu pada umumnya hal ini tidak dianggap sebagai material yang diberi tulangan (reinforced materials) dalam arti mereka tidak mengandung serat.

Pada saat ini sebagian besar thermosetting resins digunakan sebagai bahan pendukung serat dalam komposit adalah unsaturated polyester dan epoxy resin. Hal yang sangat dalam penggunaan material ini adalah pada saat cross-linking dan dapat dicetak dengan tekanan rendah pada suhu kamar. Table dibawah ini menunjukkan sifat - sifat dari fibre reinforced epoxy.

material	Vol frac (W_f)	density (Kg/m^3)	Tens strg (GN/m^2)	Tsl modl (GN/m^2)
Epoxy	-	1200	0.07	6
Epx/Egls	.57	1970	0.57	22
Epx/Kev	.60	1400	0.65	40
Epx/C	.58	1540	0.38	80
Epx/Br	.40	2000	0.38	106

(tabel II-2)

(b) ~~teknologi~~

Telah banyak digunakan jenis thermoplastic sebagai bahan dasar pembuatan komposit (reinforced plastic), ini termasuk polypropylene, nylon, styrene-based materials, themoplastic polyester, acetal, polycarbonate, polysulphone, dan lain - lain. Pemilihan jenis material ini tergantung pada banyak faktor, diantaranya adalah aplikasinya, kondisi lingkungan, dan biaya. Dalam banyak hal teknik proses thermoplastic secara konvensional dapat digunakan untuk membuat barang barang cetakan. Berikut akan

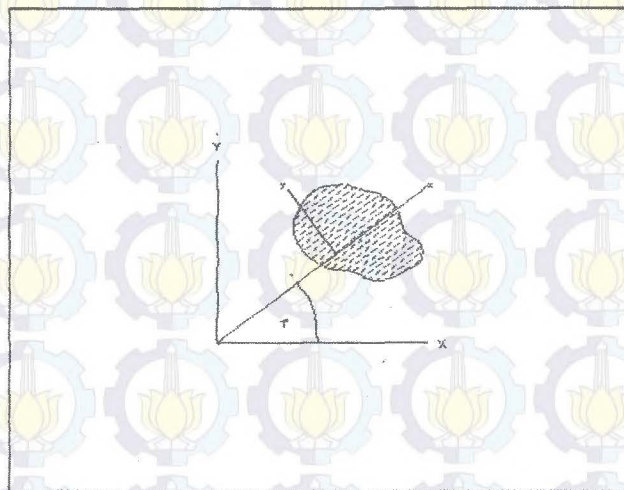
diberikan data dari sifat - sifat dari fibre reinforced nylon.

Material	Wgt fr (W_f)	density (Kg/m^3)	Tsl str (GN/m^2)	Flex mod (GN/m^2)
Nylon 66	-	1140	0.07	2.8
Nyl/gls	0.40	1460	0.2	11.2
Nyl 66/C	0.40	1340	0.28	24.0
Nyl 66/G C	.2C/.2G	1400	0.24	20.0
Nyl 66/gls b	0.40	1440	0.09	5.6

SIFAT ORTHOTROPIS KOMPOSIT

Untuk mendapatkan hasil yang optimum berbagai jenis bahan komposit dikombinasikan dalam suatu sistem gabungan yang disebut dengan sistem hibrida. Sistem ini dilakukan dengan membuat material berlapis (laminat) yang terdiri dari serat dan matrix yang berbeda. Tebal tiap lapis, orientasi serat antar tiap lapis, serta jumlah lapisan komposit dapat diatur sesuai dengan besarnya dan jenis pembebanan beban yang akan diterima oleh struktur. Akibat

adanya lapisan dan orientasi serat dalam struktur komposit, mengakibatkan komposit bersifat anisotropis. Suatu material dikatakan anisotropis apabila material itu mempunyai material property yang berbeda beda. Apabila mempunyai material property yang berbeda dalam arah yang saling tegak lurus disebut orthotropis. Struktur dengan bahan komposit mempunyai sifat orthotropis, dengan demikian berarti mempunyai harga modulus elastisitas E dan poisson rasio ν yang berbeda dalam arah tegak lurus. Lihat gambar (II.3).



(gambar Ii.3)

gambar (II-3)

Dalam analisa untuk kasus plane stress untuk material orthotropis seperti pada gambar diatas dimana material tersebut mempunyai sumbu utama dalam arah x dan y maka matrik elastisitasnya adalah :

$$[E] = \frac{1}{(1-\nu_{xy}\nu_{yx})} \begin{bmatrix} E_x & \nu_{yx} E_x & 0 \\ \nu_{xy} E_y & E_y & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu_{yx}\nu_{xy}) G \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

Dimana E_x dan E_y adalah modulus young kearah x dan y
G adalah shear modulus.

ν_{xy} dan ν_{yx} adalah poisson rasio yang harus memenuhi persamaan $\nu_{xy} E_y = \nu_{yx} E_x$

Untuk mendapatkan Vektor regangan dalam arah sistem sumbu global, diperlukan matrik transformasi [T] yang menghubungkan vektor regangan dalam sistem koordinat global dengan arah utama dari material menurut persamaan berikut :

$$\{\epsilon\}_{\text{global}} = [T] \{\epsilon\}_{\text{lokal}}$$

Jika θ adalah sudut antara sumbu-X dan sumbu-x, matrik transformasi [T] adalah sebagai berikut :

$$[T] = \begin{bmatrix} C^2 & S^2 & -CS \\ S^2 & C^2 & -CS \\ 2CS & 2CS & C^2 - S^2 \end{bmatrix}$$

Dimana $C = \cos\theta$ dan $S = \sin\theta$.

II.3 LITERATUR REVIEW

Dari studi pustaka didapatkan bahwa komposit telah banyak digunakan dalam industri minyak dan gas bumi, baik untuk kegiatan di onshore maupun di offshore. Penggunaan komposit ini didasarkan pada sifat dan kelebihan komposit untuk industri minyak dan gas bumi. Kelebihan komposit dibandingkan dengan steel adalah :

- * Beratnya yang relatif ringan
- * Kekuatannya dapat diatur dan disesuaikan dengan jenis dan arah pembebanan.
- * Tahan terhadap lingkungan yang korosif.
- * Mempunyai sifat tahan terhadap beban kejutan (serat glass)
- * Daya serap terhadap air yang rendah, adanya uap air ini akan mempengaruhi sifat mekanis pada suhu tinggi.
- * Biaya yang relatif lebih rendah baik Konstruksi, instalasi maupun pemeliharaan
- * Mempunyai ketahanan terhadap api yang lebih baik dari aluminium dan tembaga.

Sifat tahan terhadap api ini merupakan sifat yang baru dari komposit. Sifat ini menjadi pusat perhatian kalangan industri minyak dan gas bumi. Karena pada industri ini resiko terhadap bahaya kebakaran dan ledakan sangat tinggi. Sebagai contoh adalah penggunaan pipa dengan bahan serat gelas dapat berfungsi dengan baik pada kondisi kebakaran hidro karbon. Serat gelas menunjukkan sifat yang lebih baik dari pada pipa

aluminium dan tembaga yang hanya mampu berfungsi selama setengah jam pada kondisi yang sama. Kemampuan komposit untuk tetap berfungsi dengan baik disebabkan karena pembentukan lapisan arang dari material disekeliling pipa dan efek pendinginan dari air yang terserap pada dinding pipa. Sifat ini dapat ditingkatkan dengan menggunakan coating yang mempunyai sifat pelindung terhadap api misalnya: penggunaan intumescent paints, mastic coating dan penyekat dari bahan keramik.

Di samping aspek teknis komposit mempunyai aspek ekonomis yang lebih baik. Sebagai ilustrasi adalah pemakaian komposit untuk drilling riser dapat menghemat biaya 15 % lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan steel.

berikut ini tabel perbandingan antara steel dan komposit untuk drilling riser. 2)

perbandingan biaya per jonit
antara komposit dan steel untuk riser dan bouyancy system

<u>Component</u>	<u>Steel System</u>	<u>Composite System</u>
Riser body	.24	.32
Connector assembly	.40	.40
Choke,kill,booster line	.36	.55
Subtotal riser cost	1.00	1.27
Subtotal buoyancy cost	.85	.25
Total per joint cost	1.85	1.52
Total per system cost	1.75	1.49

BAB III TEORI PLAT BERLAPIS DAN FORMULASI ELEMEN HINGGA

TEORI PLAT BERLAPIS

Sifat anisotropis struktural dapat ditimbulkan oleh pembentukan plat dari dua atau lebih bahan isotropis maupun anisotropis. Struktur plat berlapis ini banyak dipakai pada struktur pesawat terbang dalam bentuk claded plate atau sandwich plate. Kayu lapis yang dilaminasi, komposit yang terdiri dari beberapa lapisan mempunyai sifat anisotropis. Dalam penggunaan teori plat berlapis untuk analisa struktur plat komposit berlapis digunakan asumsi sebagai berikut :

1. Lapisan-lapisan tersebut terikat dengan sempurna.
2. Tebal bahan pengikat diabaikan.
3. Bahan pengikat tidak dapat mengalami geseran.
4. Penampang bidang datar tetap berupa bidang datar setelah terjadi deformasi.
5. Regangan yang terjadi pada semua lapisan dianggap sama (isostrain).

Untuk plat berlapis berlaku hubungan :

$$\begin{bmatrix} \{N\} \\ \{M\} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [A] & [B] \\ [B] & [D] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{\epsilon\} \\ \{\kappa\} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$\{ N \}$ = vektor gaya persatuan tebal.

$\{ M \}$ = vektor momen persatuan tebal.

$[A]$ = matrik kekakuan (in-plane).

$[B]$ = matrik kekakuan (coupling).

$[D]$ = matrik kekakuan lentur.

$\{ \epsilon \}$ = vektor regangan.

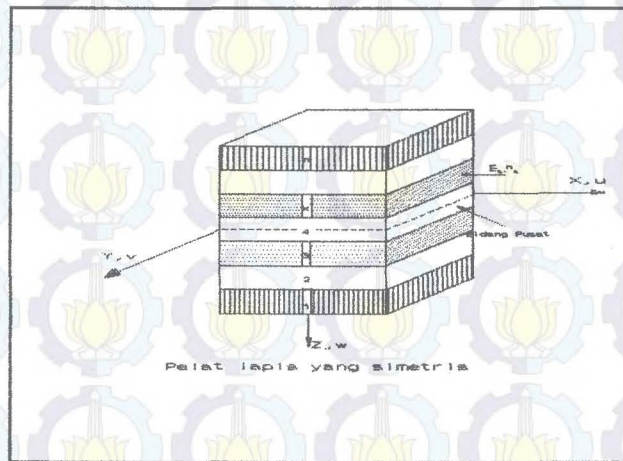
$\{ \kappa \}$ = vektor kelengkungan.

Karena lapisan komposit tidak mengalami momen, maka

$$\{ N \} = \begin{bmatrix} [A] & [B] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \{\epsilon\} \\ \{\kappa\} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Untuk susunan lapisan yang simetri, B_{ij} hubungan diatas menjadi :

$$\begin{bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (3.3)$$



3.2 PROSEDUR UMUM METODE ELEMEN HINGGA

Langkah-langkah pada metode elemen hingga pada umumnya adalah sebagai berikut:

1. Pendiskritan sistem yang kontinu menjadi elemen-elemen kecil berhingga (finite element).
2. Menghitung beban simpul ekuivalen.
3. Menghitung matrik kekakuan elemen yang diorientasikan langsung pada sistem koordinat global.
4. Penggabungan matrik kekakuan elemen menjadi matrik kekakuan global.
5. menyelesaikan sistem persamaan aljabar linear simultan untuk mendapatkan displasemen simpul.

6. Menghitung stress dengan menggunakan displasemen yang telah didapat.

3.2.1 PERUMUSAN KARAKTERISTIK ELEMEN

Perumusan matematika yang diperlukan dalam analisa struktur plat komposit berlapis dengan metode elemen hingga akan diturunkan langkah demi langkah dengan perhatian utama pada elemen kuadrilateral 8 simpul. Bentuk elemen ini dipilih disesuaikan dengan bentuk geometri struktur yang dianalisa.

Pemilihan sistim koordinat dan nomor simpul.

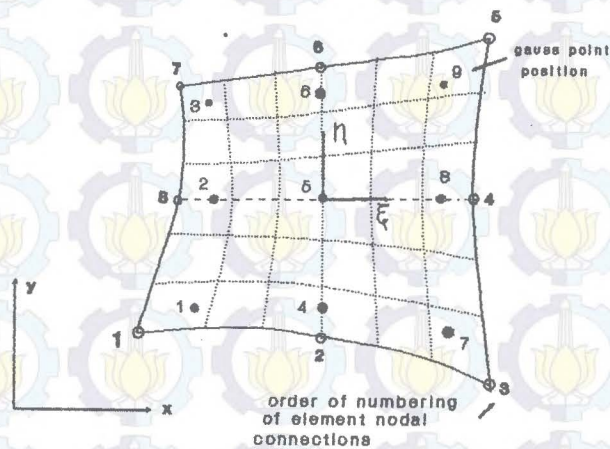
Elemen segi empat pada gambar (3.2) berada dalam sistim koordinat cartesian dan koordinat natural. Setiap titik yang terdapat pada elemen segi empat tersebut dapat ditunjukkan dengan koordinat (x,y) dan koordinat natural (ξ,η) . Pada analisa ini digunakan koordinat natural dengan pertimbangan kemudahan dalam menurunkan shape function.

Penurunan shape function elemen isoparametris kuadrilateral 8 simpul.

Fungsi bentuk (shape function) merupakan suatu fungsi yang menghubungkan fungsi displasemen dengan displasemen

simpul. Untuk memenuhi ketentuan ini maka shape function harus :

- Bisa menjamin kontinuitas elemen.
- Dalam kondisi dimana ukuran elemen direduksi sehingga dimensinya kecil sekali, fungsi bentuk harus mampu menunjukkan kondisi regangan konstan.



Gambar III.2

Orientation of local axes ξ, η and order of Gauss point numbering for two dimensional parabolic isoparametric element

Untuk pemakaian pada kasus dua dimensi PLANE STRESS, displasemen $u(\xi, \eta)$ dan $v(\xi, \eta)$ yang dipakai pada elemen

mempunyai dua derajat kebebasan u_i dan v_i pada setiap titik simpul.

Fungsi bentuk dapat diturunkan dengan menggunakan koordinat natural (ξ, η) karena kemudahannya bila dibandingkan dengan menggunakan koordinat cartesian. Untuk elemen isoparametris kuadrilateral delapan simpul maka shape functionnya adalah

$$N_1(\zeta, \eta) = -1/4 (1-\zeta) (1-\eta) (1+\zeta+\eta).$$

$$N_2(\zeta, \eta) = 1/2 (1-\zeta^2) (1-\eta).$$

$$N_3(\zeta, \eta) = 1/4 (1+\zeta) (1-\eta) (\zeta-\eta-1).$$

$$N_4(\zeta, \eta) = 1/2 (1+\zeta) (1+\eta^2).$$

$$N_5(\zeta, \eta) = 1/4 (1+\zeta) (1+\eta) (\zeta+\eta-1).$$

$$N_6(\zeta, \eta) = 1/2 (1-\zeta^2) (1+\eta).$$

$$N_7(\zeta, \eta) = 1/4 (1-\zeta) (1+\eta) (-\zeta+\eta-1).$$

$$N_8(\zeta, \eta) = 1/2 (1-\zeta) (1-\eta^2).$$

Penggunaan rumus rantai (chain rule) untuk menentukan hubungan antara koordinat cartesian dan koordinat lokal.

Untuk elemen isoparametris :

$$x = \sum_{i=1}^8 N_i x_i \quad y = \sum_{i=1}^8 N_i y_i \quad (3.5a)$$

$$u = \sum_{i=1}^8 N_i u_i \quad v = \sum_{i=1}^8 N_i v_i \quad (3.5b)$$

dimana $N_i = N_i(\zeta, \eta)$

Hubungan antara dua sistem koordinat ditentukan oleh rumus rantai berikut:

Jika f adalah fungsi $f(x, y)$ dan $x = x(\zeta, \eta)$, $y = y(\zeta, \eta)$ maka :

$$\frac{\partial f}{\partial \zeta} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \zeta} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \zeta} \quad (3.6a)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \eta} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial \eta} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{\partial y}{\partial \eta} \quad (3.6b)$$

atau dalam bentuk matriks:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial f}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial \zeta} & \frac{\partial y}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial x}{\partial \eta} & \frac{\partial y}{\partial \eta} \end{bmatrix} \text{ adalah Jacobian matrik } [J]$$

$$[J] = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix}$$

Matriks Jacobian untuk pers(3.7) dapat ditulis:

$$J_{11} = \partial x / \partial \zeta = \partial N_1 / \partial \zeta x_1 + \partial N_2 / \partial \zeta x_2 + \dots + \partial N_8 / \partial \zeta x_8$$

$$J_{12} = \partial y / \partial \zeta = \partial N_1 / \partial \zeta y_1 + \partial N_2 / \partial \zeta y_2 + \dots + \partial N_8 / \partial \zeta y_8$$

$$J_{21} = \partial x / \partial \eta = \partial N_1 / \partial \eta x_1 + \partial N_2 / \partial \eta x_2 + \dots + \partial N_8 / \partial \eta x_8$$

$$J_{22} = \partial y / \partial \eta = \partial N_1 / \partial \eta y_1 + \partial N_2 / \partial \eta y_2 + \dots + \partial N_8 / \partial \eta y_8$$

Jika ditulis dalam bentuk matriks adalah :

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \zeta} & \frac{\partial N_2}{\partial \zeta} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial \eta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 & y_1 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ x_8 & y_8 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Tujuan utama dari penurunan ini adalah untuk menentukan matriks $[B]$, sehingga matrik kekakuan $[k]$ dapat dihitung. Untuk itu kita berusaha untuk menulis :

$$\{\epsilon\} = [B] \{q\} \quad (3.10)$$

$$[\epsilon] = \begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \partial u / \partial x \\ \partial u / \partial y \\ \partial v / \partial x \\ \partial v / \partial y \end{bmatrix} \quad (3.11)$$

Selanjutnya vektor $\{\partial u / \partial x \quad \partial u / \partial y \quad \partial v / \partial x \quad \partial v / \partial y\}^T$ akan ditentukan dengan menggunakan matriks Jacobian $[J]$.

dari pers (3.6) kalau f diganti dengan u , maka :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{bmatrix} = [J]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \xi} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11}^{-1} & J_{12}^{-1} \\ J_{21}^{-1} & J_{22}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Kalau hal yang sama kita lakukan terhadap v , maka didapat

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_{11}^{-1} & J_{12}^{-1} & 0 & 0 \\ J_{21}^{-1} & J_{22}^{-1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & J_{11}^{-1} & J_{12}^{-1} \\ 0 & 0 & J_{21}^{-1} & J_{22}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial v}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

sedangkan vektor $[\frac{\partial u}{\partial \zeta}, \frac{\partial u}{\partial \eta}, \frac{\partial v}{\partial \zeta}, \frac{\partial v}{\partial \eta}]^T$ bisa didapat dari pers (3.12) yaitu :

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial u}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial u}{\partial \eta} \\ \frac{\partial v}{\partial \zeta} \\ \frac{\partial v}{\partial \eta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_1}{\partial \zeta} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial \zeta} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial \zeta} & 0 \\ \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & 0 & \frac{\partial N_2}{\partial \eta} & \dots & \frac{\partial N_8}{\partial \eta} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial \zeta} & 0 & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial \zeta} \\ 0 & \frac{\partial N_1}{\partial \eta} & 0 & \dots & 0 & \frac{\partial N_8}{\partial \eta} \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

dari persamaan (3.15) dan pers(3.16) didapat hubungan :

$$\{ \epsilon \} = [B] \{ q \}.$$

Dengan mengetahui lendutan pada semua simpul didalam elemen, maka regangan pada setiap simpul dapat dihitung.

3.2.2 PENURUNAN MATRIK STRAIN-STRESS

Dengan asumsi bahwa pembebanan masih pada sifat elastis bahan, maka menurut teori elastisitas berlaku hubungan antara tegangan (stress) dan regangan (strain).

Hubungan tersebut secara matematis dapat dinyatakan sebagai :

$$\{ \sigma \} = [D] \{ \epsilon \}. \quad (3.17)$$

dimana $\{ \sigma \}$ adalah vektor regangan.

$[D]$ adalah matrik stress-strain.

$\{ \epsilon \}$ adalah vektor regangan.

Untuk plat komposit berlapis matrik stress-strain $[D]$, dimana tiap lapis mempunyai sifat elastis bahan, orientasi serat dan ketebalan yang berbeda adalah :

$$(3.18) \quad [D] = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} \end{bmatrix}$$

$$\text{dimana suku matrik } D_{ij} = \sum_{k=1}^m \overline{Q}_{ij} t_k$$

t_k menunjukkan tebal pada lapisan ke - k.

m adalah jumlah lapisan (ply).

$$[T] = \begin{bmatrix} c^2 & s^2 & 2sc \\ s^2 & c^2 & -2cs \\ -sc & sc & c^2 - s^2 \end{bmatrix}$$

$c = \cos \theta$ dan $s = \sin \theta$, sedangkan Q_k adalah :

$$Q_k = \begin{bmatrix} Q_{11}^k & Q_{12}^k & 0 \\ Q_{12}^k & Q_{22}^k & 0 \\ 0 & 0 & Q_{33}^k \end{bmatrix} \quad (3.21)$$

$$Q_{11}^k = \frac{E_{11}}{(1 - \nu_{12} \nu_{21})} \quad (3.22)$$

$$Q_{22}^k = \frac{E_{22}}{(1 - \nu_{12} \nu_{21})} \quad (3.23)$$

$$Q_{12}^k = Q_{21}^k = \frac{v_{21} E_{11}}{(1-v_{12} v_{21})} = \frac{v_{12} E_{22}}{(1-v_{12} v_{21})} \quad (3.24)$$

$$Q_{33}^k = G_{12} \quad (3.25)$$

Dengan demikian suku dari matrik Q_k dapat ditulis sebagai berikut:

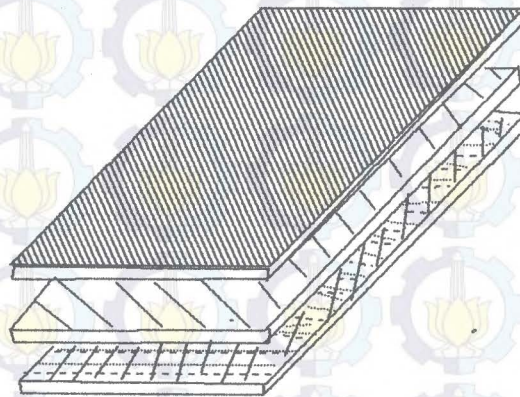
$$\bar{Q}_{11}^k = Q_{11}^k c^4 + 2(Q_{12}^k + Q_{33}^k) c^2 s^2 + Q_{22}^k s^4$$

$$\bar{Q}_{22}^k = Q_{11}^k s^4 + 2(Q_{12}^k + Q_{33}^k) c^2 s^2 + Q_{22}^k c^4$$

$$\bar{Q}_{12}^k = (Q_{11}^k + Q_{22}^k - 2Q_{33}^k) s^2 c^2 + Q_{12}^k (s^4 + c^4)$$

$$\bar{Q}_{33}^k = (Q_{11}^k + Q_{22}^k - 2Q_{12}^k - Q_{33}^k) s^2 c^2 + Q_{33}^k (s^4 + c^4) \quad (3.25)$$

$$\bar{Q}_{13}^k = (Q_{11}^k - Q_{12}^k - Q_{33}^k) c s^3 + (Q_{12}^k - Q_{11}^k + Q_{33}^k) c^3 s$$



Gambar III.3

Pelat komposit berlapis dengan orientasi serat berbeda.

Matriks Q_{ij} didapatkan dari transformasi matriks Q_{ij}

$$\bar{Q}_k = T^{-1} Q_k T = \begin{bmatrix} \bar{Q}_{11}^k & \bar{Q}_{12}^k & \bar{Q}_{13}^k \\ \bar{Q}_{21}^k & \bar{Q}_{22}^k & \bar{Q}_{23}^k \\ \bar{Q}_{31}^k & \bar{Q}_{32}^k & \bar{Q}_{33}^k \end{bmatrix} \quad (3.19)$$

dimana $[T]$ adalah matriks transformasi yang mentransformasikan apabila arah utama dari serat membentuk sudut " θ " dengan sistem koordinat global. Suku dari matriks transformasi $[T]$ adalah :

$$\bar{Q}_{23}^k = (Q_{11}^k - Q_{12}^k - Q_{33}^k) s^3 c + (Q_{12}^k - Q_{22}^k + Q_{33}^k) s c^3$$

3.2.3 PENURUNAN MATRIK KEKAKUAN

Ada dua metode untuk menurunkan matriks kekakuan elemen, yaitu metode keseimbangan dan metode energi. Metode keseimbangan mempunyai kelemahan untuk bentuk yang rumit. Karena pertimbangan tersebut banyak orang menggunakan metode energi untuk menurunkan matriks kekakuan. Proses penurunan matrik kekakuan dengan metode energi di jelaskan sebagai berikut :

Energi potensial di identifkasikan sebagai strain - energi dikurangi dengan kerja yang dilakukan oleh kerja luar,

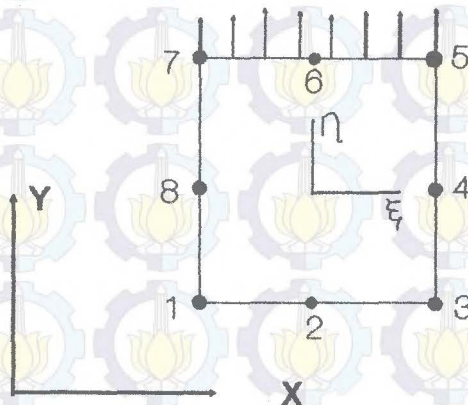
$$P_E = U - W_{eks} \quad (3.27)$$

dimana, P_E adalah potensial energi, U = strain energi, dan W_{eks} adalah kerja oleh gaya luar.

Metode potensial energi minimum menyebutkan bahwa suatu sistem yang berada dalam keseimbangan terjadi pada waktu harga potensial energinya minimum. Dengan menggunakan konsep kerja virtual (virtual work), maka metode ini dapat ditulis :

Beban merata yang bekerja pada elemen harus diubah menjadi beban yang bekerja pada simpul dan beban ini disebut BEBAN SIMPUL EKIVALEN.

Berikut ini akan dijelaskan prosedur untuk mengubah beban merata menjadi beban simpul ekuivalen.



Gambar III.4 Beban merata.

perhatikan gambar (III.3), dimana salah satu sisi elemen yang mempunyai nomor simpul 5, 6 dan 7 dikenai beban merata pada arah normal sebesar P_n . Beban merata ini dianggap bernilai positif jika arahnya keluar dari elemen.

Harga beban normal yang bekerja pada ketiga simpul tersebut adalah $P_n i$ dimana i adalah range 1 sampai dengan 3. Sedangkan harga shape function pada setiap simpul dari sisi yang dibebani adalah N_1, N_2 dan N_3 . Maka besarnya beban

merata yang bekerja pada ketiga simpul pada sisi yang terbebani adalah :

$$[P_n] = \sum N_i [P_n]_i \quad (3.41)$$

Dengan menerapkan displasemen virtual u^* dan v^* pada setiap titik simpul pada elemen yang bersangkutan, selanjutnya kita bisa menentukan besarnya beban simpul ekivalen pada arah y saja, karena tidak ada beban simpul yang bekerja pada arah x . Komponen beban yang kearah y adalah :

$$dP_y = P_n dx. \quad (3.42)$$

Kita bisa mengintegrasikan harga dp_y sepanjang sisi yang terbebani terhadap variabel curvilinear ζ , sehingga bisa kita tulis:

$$dx = \frac{\partial x}{\partial \zeta} d\zeta \quad (3.43)$$

Dengan demikian pers (3.42) bisa ditulis :

$$dP_y = P_n \frac{\partial x}{\partial \zeta} \quad (3.44)$$

Kembali dengan menggunakan prinsip kerja virtual, jika u^* dan v^* diberikan pada setiap titik simpul, maka beban simpul ekivalen dapat kita tulis sbb:

$$P_{yi} = \int N_i (P_n \frac{\partial x}{\partial \zeta} d\zeta) \quad (3.45)$$

3.3 PENYELESAIAN PERSAMAAN ALJABAR LINEAR SIMULTAN

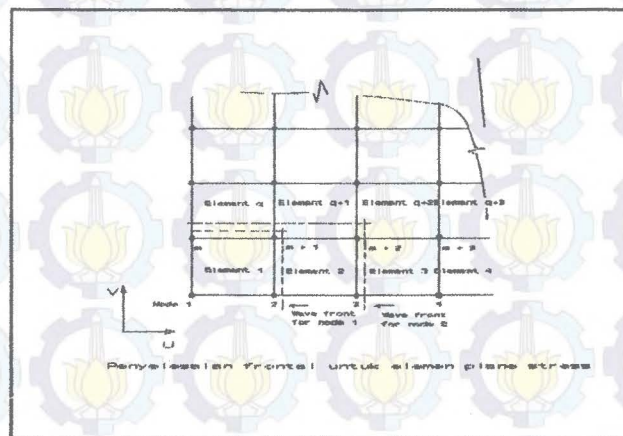
Seperti telah kita ketahui, bahwa analisa struktur dengan menggunakan metode elemen hingga tidak bisa lepas dari pembuatan program komputer. Efisiensi dari program komputer yang dibuat tergantung dari metode penyelesaian yang digunakan untuk menyelesaikan persamaan aljabar linear simultan yang terbentuk. Ada beberapa metode penyelesaian yang biasa digunakan, mulai dari metode iterasi seperti gauss seidel sampai algoritma eliminasi gauss. Dari pengalaman didapatkan, bahwa untuk penyelesaian dengan metode eliminasi gauss, komputer mikro dengan kapasitas 640 Kb hanya mampu menghandel struktur yang mempunyai 200 d.o.f saja (5 elemen, dimana tiap elemen mempunyai 40 d.o.f). Sedangkan untuk teknik yang lebih baik dari eliminasi gauss seperti yang banyak dipakai dalam pembuatan program SAP4, SAP6 yaitu teknik "bandwith" hanya mampu menghandel struktur dengan jumlah elemen sebanyak 20 elemen.

Untuk menghindari kendala diatas, maka dalam tugas akhir ini digunakan metode yang dapat digunakan untuk

menyelesaikan persamaan untuk struktur dengan banyak d.o.f dan mampu dihandel oleh komputer mikro. Metode ini dikenal dengan metode FRONTAL.

3.3.1 TEKNIK FRONTAL

Teknik frontal merupakan metode yang sangat efektif untuk menyelesaikan masalah struktur dengan banyak elemen/d.o.f. Prinsip utama dari teknik frontal adalah assembly dan reduksi matrik kekakuan tiap elemen dalam waktu yang bersamaan. Reduksi dilakukan dengan cara kondensasi statis dan eliminasi gauss. Untuk mendapatkan gambaran yang jelas perhatikan analisa plane stress pada gambar (III.4)



(gambar III-4)

Tiap elemen mempunyai 4 simpul, dimana tiap simpul mempunyai 2 derajat kebebasan yaitu displasemen dalam arah-x dan displasemen dalam arah-y. Proses frontal akan berjalan sebagai berikut :

* Assembly matrik kekakuan elemen 1

matrik kekakuan dengan ukuran 8×8 (mempunyai 4 simpul dengan 2 derajat kebebasan tiap simpulnya), simpul yang tidak berhubungan dengan elemen lain dapat dikondensasi, dalam hal ini adalah simpul nomer 1. Dengan kondensasi dan eliminasi gauss kita dapat mereduksi 2 d.o.f dari simpul tersebut, sehingga ukuran dari matrik kekakuanya menjadi 6×6 .

* Assembly elemen 2

Karena simpul nomer 1 sudah dinonaktifkan maka ukuran dari "wave front" menjadi 10×10 (5 simpul \times 2 d.o.f) kemudian dilakukan eliminasi d.o.f pada simpul yang tidak berhubungan dengan elemen yang lain, dalam hal ini simpul nomer 2, sehingga matrik kekakuan berukuran 8×8 .

* Proses ini berlangsung terus menerus sampai elemen terakhir.

Setiap kali menggabungkan elemen, saat itu pula dilakukan eliminasi d.o.f pada simpul yang sudah tidak berhubungan dengan elemen lain, dengan demikian matrik kekakuan seluruh struktur secara komplet tidak pernah terbentuk. Tentu saja hal ini sangat banyak pengaruhnya terhadap penggunaan memori komputer. Ukuran matrik kekakuan sistem tergantung dari *wave front* yang terbentuk. Besarnya *wave front* tergantung urutan penomeran yang dilakukan. Jadi dalam menggunakan teknik frontal diperlukan teknik penomeran elemen yang baik agar didapatkan ukuran *wave front* yang sekecil mungkin.

3.3.2 ELIMINASI GAUSS

Prinsip dari penyelesaian sistem persamaan dengan eliminasi gauss adalah memodifikasi matrik kekakuan menjadi bentuk matrik kekakuan segitiga atas dan kemudian menyelesaikan dengan proses substitusi balik untuk mendapatkan variabel yang dicari. Sebagai contoh akan kita selesaikan persamaan linier aljabar berikut :

dimana diketahui harga u_2 adalah 2, dengan jalan memodifikasi matrik [A] menjadi matrik segitiga atas. Pada persamaan

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 2 & 5 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 3 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ 15+R_2 \\ 22 \\ 17 \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

(3.45) baris kedua dikurangi dengan dua kali baris pertama, baris keempat dikurangi baris pertama sehingga persamaan (3.45) menjadi :

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ R_2-9 \\ 10 \\ 5 \end{bmatrix} \quad (3.46)$$

pada persamaan (3.46), harga u_2 dari baris kedua dipindahkan keruas kanan, begitu juga dengan baris keempat sehingga persamaan (3.46) menjadi:

$$(3.46) \quad \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ R_2-11 \\ 10 \\ 7 \end{bmatrix}$$

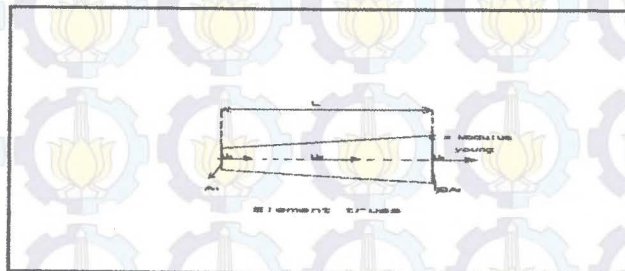
pada persamaan (3.47), baris keempat dikurangi dengan setengah kali baris ketiga, sehingga persamaan menjadi :

didapatkan yaitu sebesar 4. Dengan proses substitusi balik harga u_1 , u_2 , u_3 , dan R_2 bisa dicari.

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0.5 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 12 \\ R_2 - 11 \\ 10 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (3.48)$$

3.3.3 PROSES KONDENSASI STATIS

Pada penyelesaian persamaan aljabar linear simultan dengan teknik frontal, proses kondensasi statis digunakan untuk mereduksi jumlah derajat kebebasan setelah penggabungan satu matrik kekakuan elemen. Untuk mengetahui lebih jelas tentang proses kondensasi statis suatu elemen truss 3 simpul pada gambar (III.5)



gambar (III.5)

Simpul nomer 2 pada gambar (III.5) merupakan simpul yang tidak berhubungan dengan simpul dari elemen yang lain. Karena tidak berhubungan dengan simpul yang lain, maka simpul no. 2 ini dapat dieliminasi sehingga akan didapatkan matrik kekakuan yang hanya berhubungan dengan simpul 1 dan

simpul 3. Eliminasi dari simpul no. 2 dilakukan dengan menggunakan eliminasi gauss seperti yang dijabarkan pada butir diatas.

Matrik kekakuan dan displasemen simpul serta vektor beban yang berhubungan dipartisipasi menjadi bentuk :

$$\begin{bmatrix} k_{aa} & k_{ac} \\ k_{ca} & k_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_a \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_a \\ R_c \end{bmatrix} \quad (3.49)$$

dimana u_a dan u_c adalah displasemen yang telah dikondensasi, matrik k_{aa} , k_{ac} , k_{ca} , k_{cc} dan vektor beban R_a , R_c berhubungan dengan displasemen u_a dan u_c . Dari persamaan (3.49) pada baris 2 harga u_c adalah:

$$u_c = k_{cc}^{-1} (R_c - k_{ca} u_a) \quad (3.50)$$

harga u_c pada persamaan (3.50) dimasukkan ke persamaan (3.51) pada baris pertama, maka akan didapatkan persamaan kondensasi sebagai berikut:

$$[k_{aa} - k_{ac} k_{cc}^{-1} k_{ca}] u_a = R_a - k_{ac} k_{cc}^{-1} R_c \quad (3.51)$$

Karena matrik kekakuan struktur didapatkan dengan penambahan langsung dari matrik kekakuan elemen, maka dengan mengkondensasi derajat kebebasan internal dari elemen, sebagian dari total penyelesaian gauss telah diselesaikan pada tingkat elemen.

Keuntungan dari penggunaan kondensasi statis pada tingkat elemen adalah ukuran matrik kekakuan elemen truss pada gambar (III.5) sebagai berikut :

$$\frac{EA1}{6} L \begin{bmatrix} 17 & -20 & 3 \\ -20 & 48 & -28 \\ 3 & -28 & 25 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U1 \\ U2 \\ U3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 \\ R2 \\ R3 \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

karena simpul no. 2 tidak berhubungan dengan simpul dari elemen yang lain maka persamaan (3.52) diubah kedalam bentuk persamaan (3.49). Dengan memakai persamaan (3.51), maka persamaan (3.53) akan memberikan :

$$\left(\begin{bmatrix} 17 & 3 \\ 3 & 25 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -20 \\ -28 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 28 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -20 & -28 \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} U1 \\ U3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 + \frac{5}{12} R2 \\ R3 + \frac{7}{12} R2 \end{bmatrix} \quad (3.53)$$

atau

$$\frac{13}{19} \frac{EA1}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U1 \\ U2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R1 + \frac{5}{12} R2 \\ R3 + \frac{7}{12} R2 \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

(3.55)

dari persamaan (3.50) didapatkan harga U2 sebagai berikut :

$$U_2 = \frac{1}{24} \left[3 \frac{L}{EA_1} R_2 + 24 U_1 \right]$$

dengan cara eliminasi gauss harga U_1 , U_3 dan R_2 dari persamaan (3.54) bisa dicari. Selanjutnya harga U_1 , U_3 , dan R_2 di sibtitusikan ke persamaan (3.55), sehingga akan didapatkan harga U_2 .

2 Efektifitas sebuah program penerapan metode elemen hingga ditentukan oleh tiga faktor utama, yaitu :

1. Pemilihan elemen dan diskritisasi yang efisien.
2. Metode pemrograman yang efisien, dan pemanfaatan yang canggih serta optimal atas piranti keras dan piranti lunak yang tersedia.
3. Pemakaian teknik penyelesaian numerik yang tepat.

Untuk analisa struktur plat komposit berlapis dengan variasi orientasi serat, tebal tiap lapisan, jumlah lapisan berikut akan dijelaskan master program (program utama), subroutine-subroutine yang digunakan serta istilah istilah program.

4.1.1 Program Utama.

Dalam Tugas Akhir ini, keseluruhan program adalah modifikasi program yang disusun oleh E. Hinton dan D.R.J. Owen dari buku Finite Element Programing yang disesuaikan dengan masalah yang di analisa. Modifikasi dilakukan untuk menurunkan matrik stress-strain untuk plat komposit berlapis. Komunikasi antar modul dilakukan melalui named common dan argumen passing.

4.1.2 Subroutine Input.

Dalam program ini subroutine input menyediakan data-data sebagai berikut:

a. Koordinat simpul dan karakteristiknya.

Koordinat titik simpul tersimpan dalam array `COORD(IPOIN, IDIME)`. Karakteristik elemen dilukiskan

dalam bentuk Element Node Connectivity, yang terangkum dalam array `LNODS(NUMEL, INODE)`.

b. Kondisi Batas Lendutan.

Dalam program ini, data kondisi batas simpul-simpul terkekang dimasukkan sebagai kombinasi angka 0 dan 1 untuk setiap derajat kebebasan (degree of freedom). Angka 0 menunjukkan derajat kebebasan yang bebas dan angka 1 menunjukkan derajat kebebasan yang terkekang. Sebagai contoh kondisi batas yang ditunjukkan oleh kombinasi angka 0 dan 1 berikut :

01 berarti bebas melendut ke arah x dan terkekang pada arah y.

10 berarti terkekang pada arah x dan bebas melendut pada arah y.

11 berarti terkekang ke arah x dan y.

- b. Pada Subroutine ini juga berisi sub program yang menghitung beban simpul ekuivalen pada setiap simpul yang diberi pembebanan, yaitu dengan merubah beban merata yang bekerja pada permukaan sisi pelat menjadi beban simpul ekuivalen. Untuk menghitung beban simpul ekuivalen sub program ini dibantu dengan subroutine SFR. Beban simpul ekuivalen yang dihasilkan dari perhitungan tersebut disimpan dalam array ELOAD(NELEM,NEVAB).

4.1.3 Subroutine STIFFPS

Subroutine ini menghitung matrik kekakuan dari setiap elemen dan hasilnya disimpan dalam array ESTIF(NEVAB,NEVAB). Untuk mendapatkan harga matrik kekakuan elemen subroutine ini dibantu oleh beberapa sub-subroutine yaitu:

a. Subroutine MODPS.

Fungsi dari subroutine ini adalah untuk menghitung matriks D, yaitu matriks yang menghubungkan Stress dan Strain. Pada subroutine ini perhitungan matriks D dilakukan sampai dengan jumlah lapisan tertentu dimana tiap lapisan mempunyai material property yang berbeda-

beda. Hasil dari perhitungan ini disimpan dalam array `DMATX(NSTRE,NSTRE)`.

b. Subroutine SFR.

Subroutine ini menghitung harga fungsi bentuk (shape function) beserta turunannya (derivative). Hasil dari perhitungan tersebut disimpan dalam array `SHAPE(NNODE)` dan `DERIV(NDOFN,NNODE)`.

c. Subroutine JACOB.

Subroutine ini berfungsi untuk mentransfer dari koordinat natural menjadi koordinat cartesian. Untuk mencapai tujuan tersebut, subroutine ini melakukan proses perhitungan untuk mencari harga-harga matriks Jacobian, Determinant, Invers matriks Jacobian, dan Cartesian Derivative. Hasil-hasil dari perhitungan tersebut disimpan dalam array `XJACB(NDIME,NDIME)`, `DJACB`, `XJACI(NDIME,NDIME)` dan `CARTD(NDIME,NNODE)`.

d. Subroutine BMATPS.

Subroutine ini digunakan untuk menghitung matriks B yaitu matrik yang menghubungkan Strain dan Displacement. Hasil dari perhitungan ini disimpan dalam array `BMATX(NSTRE,NDIME)`.

e. Subroutine DBE.

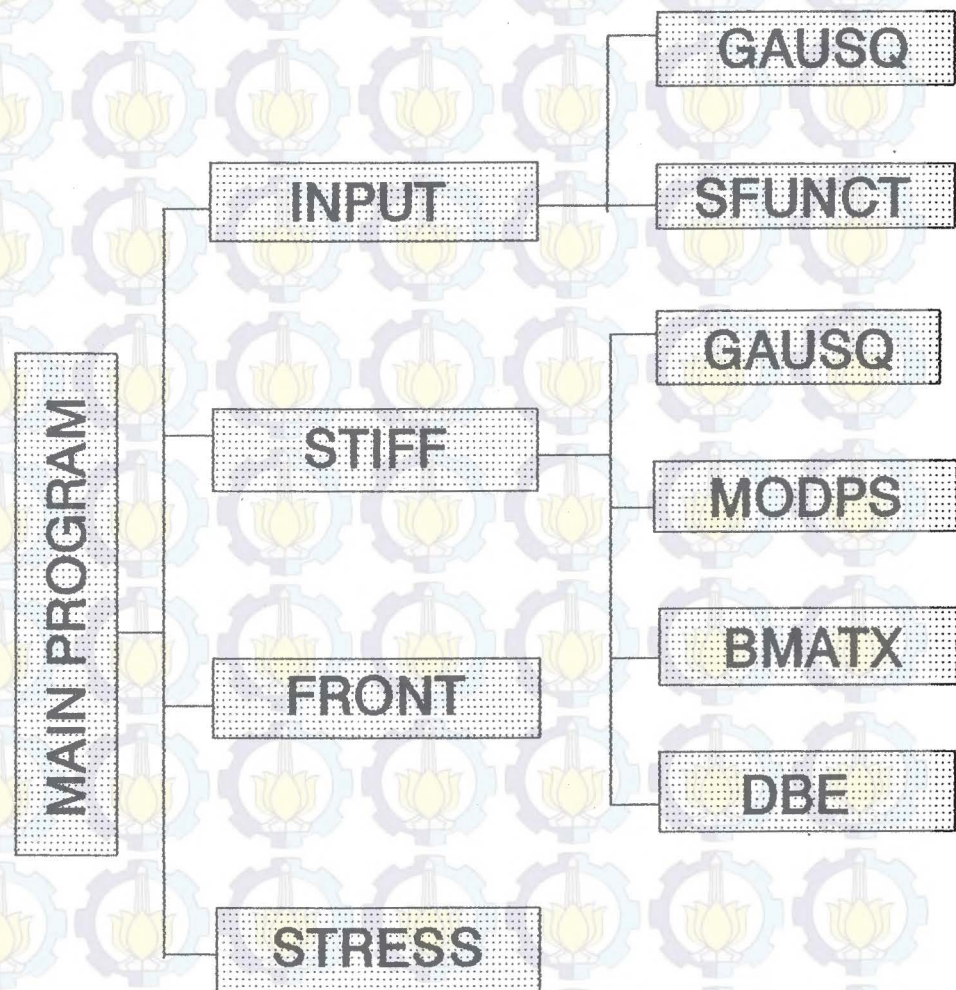
Subroutine ini untuk menghitung matriks tegangan yaitu perkalian antara matriks D dan B. Hasil dari subroutine ini disimpan dalam array DBMAT(NSTRE,NEVAB).

4.1.4 Subroutine SOLVER.

Subroutine ini dipakai untuk menyelesaikan persamaan aljabar linier simultan yang dihasilkan dari perhitungan matrik kekakuan dan beban simpul seluruh struktur. Pada subroutine ini matrik kekakuan dibaca dari file per-elemen dan setelah diassembly langsung dieliminasi untuk simpul yang tidak berhubungan dengan simpul dari elemen yang lain.

4.2 DIAGRAM ALIR PROGRAM

Secara garis besar diagram alir program analisa struktur plat komposit berlapis adalah :



4.3 Pengisian File Data.

Untuk pengisian data pada program ini, terdapat 2 file data. Yang pertama untuk pengisian untuk Subroutine INPUT, Data disini berisi tentang konfigurasi struktur. Data kedua digunakan untuk masukan pada Subroutine MODPS,

data ini berisi material properti adri struktur yang akan dianalisa.

4.3.1 Data masukan pada Subroutine INPUT

1. Set data pertama "Kontrol Variabel", yaitu jumlah simpul struktur, jumlah elemen struktur, jumlah simpul terkekang dan Jumlah simpul yang terbebani untuk beban terpusat.
2. Set data kedua "element conectivity" yaitu nomer elemen, pembacaan nomer simpul.
3. Set data ketiga "koordinat titik simpul" yaitu nomer simpul, koordinat-x, koordinat-y.
4. Set data ke empat "Simpul terkekang" yaitu kekangan kearah-x, kekangan kearah-y, dan nilai kekangan.
5. Set data ke lima "kondisi pembebanan"
 - Blok pertama (beban terpusat = 1, ada pembebanan. Beban merata = 0 tidak ada pembebanan.)
 - Blok kedua (jumlah sisi elemen yang dibebani)
 - Blok ketiga baris pertama (nomer elemen, Nomer simpul pada sisi yang dibebani)
 - Blok ketiga baris kedua, besar beban kearah x dan y.

3.4.2 Data untuk material property :

1. Set data pertama untuk jumlah lapisan

2. Set data kedua :

- Baris pertama, nilai modulus Young ke arah x tiap lapisan.
- Baris kedua, nilai modulus Young ke arah y tiap lapisan.
- Baris ketiga, nilai modulus Geser tiap lapisan.
- Baris keempat, orientasi serat tiap lapisan.
- Baris ke lima, ketebalan tiap lapisan.

4.4 Daftar Nama Variabel

Nelem	: Jumlah elemen yang digunakan dalam struktur
Npoin	: Jumlah titik simpul dalam struktur
Nnode	: Jumlah titik simpul per elemen (8)
Ndofn	: Jumlah derajat kebebasan per titik simpul (2)
Nvfix	: Jumlah simpul terkekang
Nprop	: Jumlah elemen propertie
Nlyr	: Jumlah lapisan
Ndime	: Jumlah sistim koordinat yang digunakan (2)
Nstre	: komponen tegangan yang bekerja pada titik simpul (3)
Nevab	: Jumlah variabel per elemen ($Nnode \cdot ndofn$)
Nsvab	: Total varibel dalam struktur ($Npoin \cdot Ndofn$)
Ngaus	: Jumlah titik sampel (gauss point) (3)

DuX : du/dx

Strgp(3) : Tegangan pada titik gauss

Stran(3) : Regangan pada titik simpul per elemen

Shape(8) : Shape function terhadap koordinat natural

Deriv(i,j) : Turunan shape function terhadap koordinat natural

i notasi sistem koordinat natural

j notasi simpul per elemen

Cartd(i,j) : Turunan shape function terhadap koordinat global

i notasi sistem koordinat cartesian

j notasi nomer simpul per elemen

Eldis(i,j) : Displasemen simpul per elemen

i notasi banyaknya derajat kebebasan

j notasi jumlah simpul per elemen

Elcod(i,j) : Koordinat simpul per elemen

i notasi sistem koordinat yang digunakan

j notasi jumlah simpul per elemen

Eload(i,j) : Beban simpul ekivalen

i notasi nomer elemen

j notasi derajat kebebasan

Ifpre(i,j) : Kode kekangan pada simpul terkekang

i notasi nomer elemen

j notasi arah kekangan (x atau y)

Presc(i,j) : Nilai kekangan pada simpul terkekang

i notasi simpul terkekang

j notasi harga kekangan sesuai dengan arah kekangan

Press(i,j) : Harga beban simpul ekuivalen

i notasi nomor simpul yang dibebani

j notasi arah pembebanan

Nodeg : jumlah simpul pada sisi yang dibebani

coord(i,j) : Koordinat titik simpul

i notasi total nomor simpul dalam struktur

j notasi sistem koordinat kartesian

Bmat(i,j) : Matrik transformasi regangan-displasemen

i notasi komponen tegangan

j notasi komponen variabel per elemen

Dmatx(i,j) : Matrik transformasi tegangan regangan

i=j notasi komponen tegangan

DBmat(i,j) : Matrik hasil perkalian matrik B dan D

i notasi komponen tegangan

j notasi simpul per elemen

Estif(i,j) : Matrik kekakuan elemen

i=j notasi total variabel per elemen

BAB V KEABSAHAN DAN APLIKASI PROGRAM

V.1 KEABSAHAN PROGRAM

Dalam pembuatan program komputer perlu dilakukan pengetesan untuk mengetahui kebenaran/keabsahan program. Pengetesan keabsahan dapat dilakukan dengan cara membandingkan hasil yang didapat secara analitis atau contoh perhitungan dari sebuah paket program yang telah di ketahui kebenarannya. Apabila dari cara - cara diatas tidak mungkin dilakukan maka tes keabsahan dapat dilakukan dengan jalan memperkirakan apakah hasil dari eksekusi program tersebut cukup baik atau tidak, dalam arti dapat diterima oleh akal sesuai dengan keadaan sistem yang dianalisa.

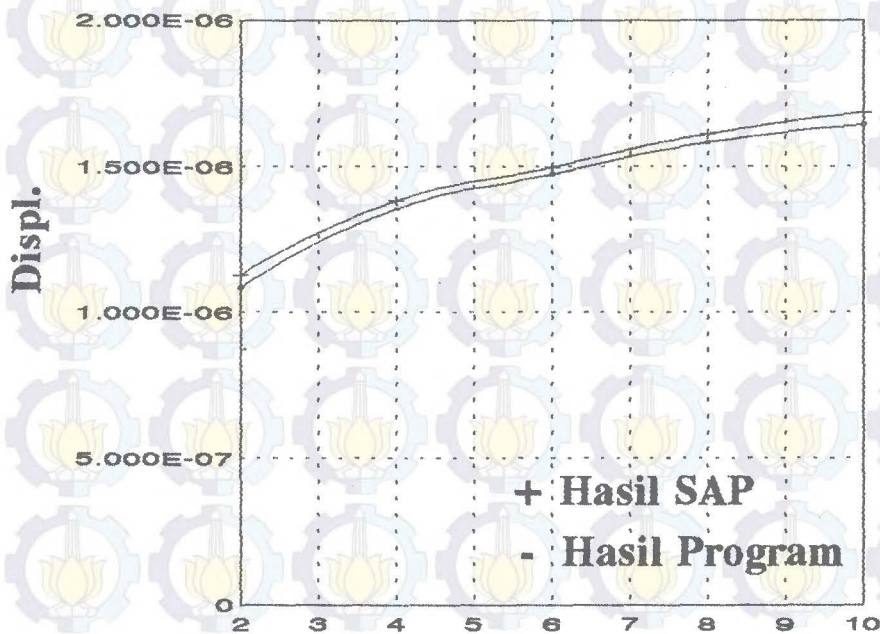
Dalam bab ini hasil dari eksekusi program akan dibandingkan dengan hasil eksekusi dari SAP90.

Untuk membandingkan hasil dari eksekusi program yang dibuat dengan SAP90 diambil suatu sampel permasalahan sebagai berikut :

Sebuah plat dengan ukuran (4 x4)M dengan ketebalan 10mm dengan data material properti :

dari hasil eksekusi program dan SAP90 didapatkan perbedaan harga displasemen simpul yang ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Verifikasi



Tingkat kesalahan :

$$\text{abs}((1.498 - 1.474) / 1.498) \times 100\% = 1.6\%$$

V.2 APLIKASI PROGRAM

Untuk aplikasi program digunakan sample struktur sebagai berikut :

$$E_x = 144E+9$$

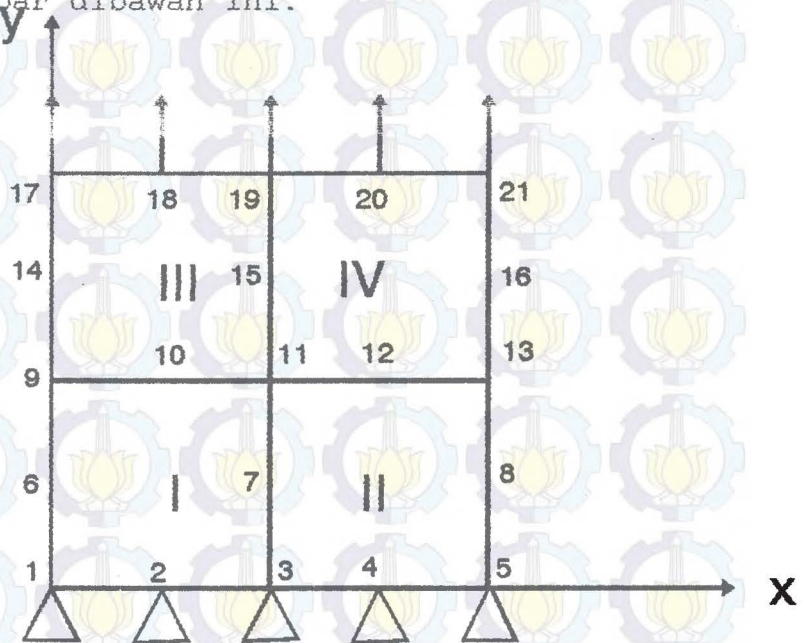
$$\text{dan } E_y = 112E+9$$

$$\nu_{xy} = 0.27$$

$$G = 56E+8$$

$$\text{dan } \theta = 30.0$$

plat tersebut dibagi menjadi 16 elemen, tiap elemen terdiri dari 8 simpul dengan tiap simpul terdapat 2 derajat kebebasan. Kondisi pembebanan dan restrain dapat dilihat dari gambar dibawah ini.



Gambar V.1

plat komposit dengan ukuran 4 x 4 m yang terdiri dari 3 lapisan dimana tiap lapisan mempunyai material property yang berbeda.

lapisan 1 : $E_x = 144E+9$ dan $E_y = 112E+8$

$$\nu_{xy} = 0.27$$

$$G = 5.6E+9$$

$$t \text{ (tebal lapisan)} = 10E-2 \text{ m}$$

$$\theta = 30.0$$

lapisan 2 : $E_x = 150E+9$ dan $E_y = 130E+9$

$$\nu_{xy} = 0.3$$

$$G = 5.5E+9$$

$$t \text{ (tebal lapisan)} = 15E-2$$

$$\theta = 60.0$$

lapisan 3 : $E_x = 120E+9$ dan $E_y = 140E+9$

$$\nu_{xy} = 0.28$$

$$G = 5E+9$$

$$t \text{ (tebal lapisan)} = 20E-2$$

$$\theta = 45.0$$

pembagian elemen, kondisi pembebanan, dan restrain seperti gambar diatas. Dari hasil eksekusi program didapatkan hasil yang dapat dilihat dilampiran B

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 KESIMPULAN

Berdasarkan pada pembahasan yang telah dilakukan dan berpijak pada hasil pengujian *test case*, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Komposit dapat menghemat 15% untuk system drilling riser dibandingkan dengan menggunakan steel.
2. Untuk kondisi pembebanan tertentu perubahan orientasi serat dapat mengakibatkan perubahan konsentrasi tegangan.

VI.2 SARAN DAN PENGEMBANGAN LEBIH LANJUT.

Program analisa struktur plat komposit berlapis ini hanya terbatas pada kondisi atau keadaan *plane stress* saja. Padahal aplikasi sebenarnya banyak sekali dijumpai beban bending, buckling dan lain lain. Hal ini perlu pengembangan lebih lanjut karena disamping itu bentuk struktur yang terdapat di lapangan banyak berbentuk silindris misalnya untuk pemakaian *pressure vessel*.

Karena kekuatan struktur komposit sangat dipengaruhi oleh tebal lapisan dan orientasi serat perlu dilakukan

optimasi lapisan struktur komposit yang berdasarkan oorientasi serat, sehingga didapatkan tebal lapisan yang minimum tetapi memenuhi kriteria kekuatan yang dipersyaratkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Suryatama, danet, 1991 "material komposit pada bangunan lepas pantai serta kemungkinan penerapan pada bidang lain, tidak diterbitkan
2. Tamarelle, P.J.C. 1987. "High Performance Composite Tubes for Offshore Application ". OTC 5384, Offshore Technology Conference. Houston, Texas, page 297-304
3. Suhaedi, 1989 "Penentuan zone plastis pada AL 7075 TG dengan Metode Elemen Hingga. FTK- ITS Surabaya.
4. Soemantri, Satriyo, 1988. "Optimasi Komposisi Lapisan Komposit ", Makalah Simposium Nasional Metode Numerik dalam Rekayasa struktur. ITB Bandung.
5. Crawford, R.J. 1989. "Plastics Engineering". Maxwell Mac Millan International Edition, 2nd ed, pagamon press.
6. Salama, M.M. 1986. " Light Weight Materials for Deep water Offshore Structure". OTC 5185. Offshore Technology Conference. Houston, Texas page 297-304
7. Bathe, K.J and E.L. Wilson, "Numerical Methods in Finite Element Analysis", Mc Graw Hill, London 1976.
8. Hinton, E., Owen, D.R.J., "Finite Element software for plate and shell ", Pineridge Press, Swansea, 1984.
9. Imron, A., "Diktāt Kuliah Metode Elemen Hingga", FTK-ITS, tidak diterbitkan.

10. Owen, D.R.J. and Hinton, J.E., "The Finite Element Programing", Academic Press, London 1977.

C\$NOWARN

C\$no1ist

C\$NOEXT

C

C >MAIN PROGRAM

C

IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

CHARACTER*15 SOURCE,OUTPUT

COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE

COMMON/DUA/PROP(2,4),COORD(250,2),MATNO(100),LNODS(100,9),
NOFIX(100),IFPRE(100,2),PRESC(100,2)

COMMON/TIGA/PRESS(3,2),ELOAD(100,18),POINT(2),PGASH(2),
DGASH(2),NOPRS(3),lodpt(8),lpoint(8)

COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),
SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)

COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
DMATX(3,3),,DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)

C

C >TAMPILAN HASIL PROGRAM PADA FILE

PRINT*,CHAR(27),'[0;47m'

PRINT*,CHAR(27),'[2J'

PRINT*,CHAR(27),'[0;47;4;30m'

PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'

WRITE(*,26)

26 FORMAT(27X,'File Input : ',\)

C READ(*,44) SOURCE

source='verr.dat'

OPEN(UNIT=4,FILE=SOURCE)

WRITE(*,31)

31 FORMAT(27X,'File Output : ',\)

C READ(*,44) OUTPUT

output='asil'

OPEN(UNIT=7,FILE=OUTPUT)

44 FORMAT(A10)

PRINT*,CHAR(27),'[0m'

C

C >HEAD COVER UNTUK FILE HASIL

CALL HEAD

C >MENENTUKAN DATA-DATA PROGRAM DARI FILE DATA

CALL INPUT

C >MENENTUKAN MATRIK KEKAKUAN

CALL STIFF

C >MENENTUKAN DISPLACEMENT

CALL SOLVER

C >MENENTUKAN TEGANGAN

CALL STR

C

PRINT*,CHAR(27),'[2J'

PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'

PRINT*,CHAR(27),'[0;47;1;34m'

WRITE(*,190)

```

190  FORMAT(
      .14X,'
      .14X,'
      .14X,'
      STOP
      END

```

RUNNING SELESAI

```

C
C >MEMBACA DATA DAN BEBAN SIMPUL
C

```

SUBROUTINE INPUT

IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

```

C CHARACTER*15 CASE

```

```

COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
      NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE

```

```

COMMON/DUA/PROP(2,4),COORD(250,2),MATNO(100),LNODS(100,9),
      NOFIX(100),IFPRE(100,2),PRESC(100,2)

```

```

COMMON/TIGA/PRESS(3,2),ELOAD(100,18),POINT(2),PGASH(2),
      DGASH(2),NOPRS(3),lodpt(8),lpoint(8)

```

```

COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),
      SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)

```

```

COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),

```

```

      DMATX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)

```

```

C
C OPEN(UNIT=5,FILE='POINT')
C

```

REWIND 5

```

PRINT*,CHAR(27),'[0;47m'

```

```

PRINT*,CHAR(27),'[2J'

```

```

PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'

```

```

PRINT*,CHAR(27),'[0;45;1;34m'

```

```

WRITE(*,88)

```

```

88  FORMAT(
      .30X,'INPUT PROGRAM ',
      '
      '

```

```

C
C >INPUT CONTROL DATA
C

```

```

      READ(4,444)CASE

```

```

C444  FORMAT(A15)

```

```

      READ(4,*) NPOIN,NELEM,NVFIX,NOFN

```

```

C      READ(4,*) NPOIN,NELEM,NVFIX

```

NNODE = 8

NDOFN = 2

NPROP = 3

NDIME = 2

NGAUS = 3

NSTRE = 3

NSTRA = NSTRE+1

NEVAB = NNODE*NDOFN

NSVAB = NPOIN*NDOFN


```

      NMATS = 1
C
C      >TITIK SAMPEL DAN FAKTOR "WEIGHT" UNTUK
C      >INTEGRASI NUMERIK
      CALL GAUSQ
C
C      WRITE(7,257)
C257  FORMAT(/,'*****')
C      WRITE(7,256)CASE
C256  FORMAT('KASUS      : ',A15)
      WRITE(7,258)
258  FORMAT('*****')
C      >MEMBACA DATA PARAMETER STRUKTUR
      WRITE(7,2)
2    FORMAT(/,'*****',/,
.10X,'Struktural Parameter',/,
. '*****')
      WRITE(7,3) NELEM,NPOIN,NVFIX,NNODE,NDOFN,
. NSTRE
3    FORMAT(
. 'total jumlah elemen dalam struktur      : ',I5,/,
. 'total jumlah simpul dalam struktur      : ',I5,/,
. 'jumlah titik simpul terkekang           : ',I5,/,
. 'jumlah simpul per elemen                 : ',I5,/,
. 'jumlah derajat kebebasan per titik simpul : ',I5,/,
C . 'total material properties               : ',I5,/,
. 'jumlah komponen tegangan per titik simpul : ',I5)
C
C      >URUTAN TITIK SIMPUL ELEMEN DAN
C      >NOMOR MATERIAL PROPERTIES
      WRITE(7,13)
13   FORMAT(/,'*****',/,
.10X,'Element Connectivity',/,
. '*****')
      WRITE(7,14)
14   FORMAT(1X,'Nomor Elemen',3X,6X,
. 'Urutan Nomor Simpul')
      DO 15 JELEM = 1,NELEM
      READ(4,*) IELEM,
. (LNODS(IELEM,INODE),INODE=1,NNODE)
15   WRITE(7,16) IELEM,
. (LNODS(IELEM,INODE),INODE=1,NNODE)
16   FORMAT(3X,I2,9X,I9,8X,9I5)
C
      DO 17 JELEM = 1,NELEM
      DO 17 INODE = 1,NNODE
      LNODE = LNODS(JELEM,INODE)
17   CONTINUE
C

```

```

C >PEMBACAAN KOORDINAT SIMPUL
DO 8 IPOIN = 1,NPOIN
DO 8 IDIME = 1,NDIME
8 COORD(IPOIN,IDIME) = 0.0
DO 11 JPOIN = 1,NPOIN
READ(4,*) IPOIN,(COORD(IPOIN,IDIME),IDIME=1,NDIME)
WRITE(5,*) IPOIN,(COORD(IPOIN,IDIME),IDIME=1,NDIME)
11 CONTINUE
C
C >MEMBACA NILAI KEKANGAN (FIXED VALUE)
WRITE(7,18)
18 FORMAT(/,'*****',/,
.16X,'Simpul Terkekang',/,
. '*****')
WRITE(7,19)
19 FORMAT(1X,'No.Simpul',3X,'Code',7X,'Nilai Kekangan')
DO 21 IVFIX = 1,NVFIX
READ(4,*) NOFIX(IVFIX),
.(IFPRE(IVFIX,IDOFN),IDOFN=1,NDOFN),
.(PRESC(IVFIX,IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
WRITE(7,20) NOFIX(IVFIX),
.(IFPRE(IVFIX,IDOFN),IDOFN=1,NDOFN),
.(PRESC(IVFIX,IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
20 FORMAT(1X,I3,7X,2I2,8X,2(F7.4,2X))
21 CONTINUE
C
C >PEMBACAAN DATA MATERIAL PROPERTIES (ELEMENT PROPERTIES)
C WRITE(7,44)
C 44 FORMAT(/,'*****',/,
C .10X,'Material Properties',/,
C . '*****')
C WRITE(7,5)
C 5 FORMAT(1X,'Nomor',8X,'Properties')
C DO 6 IMATS = 1,NMATS
C READ(4,*) NUMAT,
C .(PROP(NUMAT,IPROP),IPROP=1,NPROP)
C 6 WRITE(7,7) NUMAT,
C .(PROP(NUMAT,IPROP),IPROP=1,NPROP)
C 7 FORMAT(2X,I3,6X,3(E12.5,1X))
C
C
C >SUB PROGRAM BEBAN SIMPUL EKIVALEN
DO 52 IELEM = 1,NELEM
DO 52 IEVAB = 1,NEVAB
52 ELOAD(IELEM,IEVAB) = 0.0
C
do 919 i = 1,8
lodpt(i)=0.0
919 lpoint (i)=0.0

```



```

C      >MEMBACA DATA KONDISI PEMBEBANAN
      READ(4,*) IPILOD,IEDGE
49     FORMAT(I3,1X,I3)
      WRITE(7,53) IPILOD,IEDGE
53     FORMAT(/,'Beban Terpusat =',I2,/,
      . 'Beban Merata   =',I2)
      IF (IPILOD.EQ.0) GOTO 58
      DO 111 LOFN=1,NOFN
      READ(4,*) LODPT(LOFN),(POINT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
      lpoint(LOFN)=point(2)
C      print *,lodpt(LOFN),lpoint(LOFN)
      111 WRITE(7,54) LODPT(LOFN),(POINT(IDOFN),IDOFN=1,NDOFN)
54     FORMAT(/,'NO. SIMPUL',4X,'gy-X',12X,'gy-Y',
      . /3X,I3,5X,2(F10.3,5X))

```

```

C
      DO 55 JELEM = 1,NELEM
      DO 55 INOfn = 1,NOfn
      NLOCA = LNODS(JELEM,INOfn)
      IF (LODPT(LOFN).EQ.NLOCA) GOTO 56
55     CONTINUE
56     DO 57 IDOFN = 1,NDOFN
      NGASH = (INOfn-1)*NDOFN+IDOFN
57     ELOAD(JELEM,NGASH) = POINT(IDOFN)
      GOTO 70

```

```

C
C      >BAGIAN PERHITUNGAN DISTRIBUSI BEBAN MERATA
C

```

```

58     NODEG = 3
      READ(4,*) NEDGE
      WRITE(7,59) NEDGE
59     FORMAT('Jumlah Sisi Yang Dibebani :',I3)
      WRITE(7,60)
60     FORMAT(/,'*****',/,
      . 1X,'Sisi Yang Dibebani & Besar Yang Diberikan',/,
      . '*****')

```

```

C
      DO 69 IEDGE = 1,NEDGE
      READ(4,*) NEASS,(NOPRS(IDEDEG),IDEDEG=1,NODEG)
      WRITE(7,61) NEASS,(NOPRS(IDEDEG),IDEDEG=1,NODEG)
61     FORMAT(3X,I4,8X,3(I3,2X))
      READ(4,*) ((PRESS(IDEDEG,IDOFN),IDEDEG=1,NODEG),
      . IDOFN=1,NDOFN)
      WRITE(7,62) ((PRESS(IDEDEG,IDOFN),IDEDEG=1,NODEG),
      . IDOFN=1,NDOFN)
62     FORMAT(2X,6F10.3)

```

```

C      ETASP = -1.0

```

```

C      >KOORDINAT SIMPUL PADA SISI ELEMEN
      DO 63 IDEDEG = 1,NODEG
      LNODE = NOPRS(IDEDEG)
      DO 63 IDIME = 1,NDIME

```

```

63 ELCOD(IDIME,IODEG) = COORD(LNODE,IDIME)
C
C >PROSES INTEGRASI NUMERIK
DO 68 IGAUS = 1,NGAUS
EXISP = POSGP(IGAUS)
C
C >MENGHITUNG SHAPE FUNCTION
CALL SFUNCT(EXISP,ETASP)
C
C >MENGHITUNG KOMPONEN BEBAN SIMPUL EKIVALEN
DO 64 IDOFN = 1,NDOFN
PGASH(IDOFN) = 0.0
DGASH(IDOFN) = 0.0
DO 64 IODEG = 1,NODEG
PGASH(IDOFN) = PGASH(IDOFN)+
PRESS(IODEG,IDOFN)*SHAPE(IODEG)
DGASH(IDOFN) = DGASH(IDOFN)+
ELCOD(IDOFN,IODEG)*DERIV(1,IODEG)
64 CONTINUE
DVOLU = WEIGP(IGAUS)
PXCUM = DGASH(1)*PGASH(2)-DGASH(2)*PGASH(1)
PYCUM = DGASH(1)*PGASH(1)+DGASH(2)*PGASH(2)
C
C >MENGKABUNGKAN BEBAN SIMPUL EKIVALEN PADA ELEMEN
DO 65 INODE = 1,NNODE
NLOCA = LNODS(NEASS,INODE)
IF (NLOCA.EQ.NOPRS(1)) GOTO 66
65 CONTINUE
66 JNODE =INODE+NODEG-1
KOUNT = 0
DO 67 KNODE = INODE,JNODE
KOUNT = KOUNT+1
NGASH = (KNODE-1)*NDOFN+1
MGASH = (KNODE-1)*NDOFN+2
IF (KNODE.GT.NNODE) NGASH = 1
IF (KNODE.GT.NNODE) MGASH = 2
ELOAD(NEASS,NGASH) = ELOAD(NEASS,NGASH)+
SHAPE(KOUNT)*PXCUM*DVOLU
ELOAD(NEASS,MGASH) = ELOAD(NEASS,MGASH)+
SHAPE(KOUNT)*PYCUM*DVOLU
67 CONTINUE
68 CONTINUE
69 CONTINUE
goto 112
C
70 continue
do 918 lofn = 1,nofn
DO 915 JELEM = 1,NELEM
print *, 'nomor elemen',jelem
do 917 inode=1,nnode

```



```

C      WRITE(*,916) lodpt(lfn),
C      .LNODS(jelem,inode)
      if(lnods(jelem,inode).eq.lodpt(lfn)) then
C      print *, 'cocok', lpoint(lfn)
      eload(jelem,2*inode)=lpoint(lfn)
C      print *, eload(jelem,2*inode)
      endif
916  FORMAT(3X,8(I5,3X))
917  continue
915  continue
C      pause
918  continue
C      pause

112  WRITE(7,71)
71   FORMAT(/, '*****', /,
.9X, 'Beban Simpul Ekuivalen', /,
. '*****')
      DO 73 JELEM = 1, NELEM
      WRITE(7,72) JELEM, (ELOAD(JELEM,IEVAB), IEVAB=1, NEVAB)
72   FORMAT('ELEMEN NOMOR ', 1X, I2,
. /2X, 8E8.2, / (2X, 8E8.2))
73   CONTINUE
      CLOSE(4)
      RETURN
      END

```

```

C      >FAKTOR BERAT UNTUK INTEGRASI NUMERIK

```

```

SUBROUTINE GAUSQ
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
      NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE
COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
      DMTX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)

```

```

C      IF (NGAUS.LE.2) THEN
      POSGP(1) = -0.577350269189626
      WEIGP(1) = 1.0
      ELSE
      POSGP(1) = -0.774596669241483
      POSGP(2) = 0.0
      WEIGP(1) = 0.555555555555556
      WEIGP(2) = 0.888888888888889
      ENDIF
      KGAUS = NGAUS/2.
      DO 1 IGASH = 1, KGAUS
      JGASH = NGAUS+1.0-IGASH
      POSGP(JGASH) = -POSGP(IGASH)

```

```

WEIGP(JGASH) = WEIGP(IGASH)
1 CONTINUE
C
RETURN
END
C
C
C
C
C >Matrik Kekakuan Elemen
C
SUBROUTINE STIFF
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE
COMMON/DUA/PROP(2,4),COORD(250,2),MATNO(100),LNODS(100,9),
NOFIX(100),IFPRE(100,2),PRESC(100,2)
COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),
SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)
COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
DMATX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)
C
DIMENSION Q(3,3),C1(3,3),D(3,3)
DIMENSION E11(10),E22(10),V12(10),V21(10),G12(10),A(10)
DIMENSION H1(10)
OPEN(UNIT=2,FILE='STIFF')
OPEN(UNIT=8,FILE='STRSS')
OPEN(UNIT=10,FILE='GPOINT')
OPEN(UNIT=13,FILE='coba.DAT')
REWIND 2
REWIND 8
REWIND 10
C rewind 13
C >TAMPILAN COVER RUNNING PROGRAM
PRINT*,CHAR(27),'[0;47m'
PRINT*,CHAR(27),'[2J'
PRINT*,CHAR(27),'[1;47;30m'
PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'
WRITE(*,1)
1 FORMAT(4(25X,30(' '),/))
PRINT*,CHAR(27),'[0;47;35m'
PRINT*,CHAR(27),'[9;1H'
WRITE(*,2)
2 FORMAT(4(24X,30(' '),/))
PRINT*,CHAR(27),'[0;45;4;37m'
PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'
WRITE(*,3)
3 FORMAT(35X,'ANALISA',/
.28X,'PLAT KOMPOSIT BERLAPIS')
PRINT*,CHAR(27),'[0;47;35m'
PRINT*,CHAR(27),'[10;1H'

```



```

WRITE(*,4)
4  FORMAT(3(24X,(' '),/))
C
CALL GAUSQ
C
DO 7 JELEM = 1,NELEM
C  LPROP = MATNO(JELEM)
DO 19 INODE = 1,NNODE
  LNODE = LNODS(JELEM,INODE)
  DO 19 IDIME = 1,NDIME
19  ELCOD(IDIME,INODE) = COORD(LNODE,IDIME)
C
C  >Menyusun matrik D
C
DO 999 I=1,3
DO 999 J=1,3
  DMATX(I,J)=0.0
999  CONTINUE

C*****
C  subroutine modps
C*****
C  implicit double precision (a-h,o-z)
C  COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(16,16),
C  .DMATX(3,3),DBMAT(3,16),BMAT(3,16),BSMAT(3,16,9)
C  OPEN(13,FILE='coba.DAT')
  REWIND 13
  READ (13,*)NLVR
  READ(13,*)(E11(L),L=1,NLVR)
  READ(13,*)(E22(L),L=1,NLVR)
  READ(13,*)(V12(L),L=1,NLVR)
  READ(13,*)(G12(L),L=1,NLVR)
  READ(13,*)(H1(L),L=1,NLVR)
  READ(13,*)(A(L),L=1,NLVR)

  DO 17 L=1,NLVR
    V21(L)=V12(L)*E22(L)/E11(L)
    Q(1,1)=E11(L)/(1.0-V12(L)*V21(L))
    Q(1,2)=E11(L)*V12(L)/(1.0-V12(L)*V21(L))
    Q(1,3)=0.0
    Q(2,1)=Q(1,2)
    Q(2,2)=E22(L)/(1.0-V12(L)*V21(L))
    Q(2,3)=0.0
    Q(3,1)=Q(1,3)
    Q(3,2)=0.0
    Q(3,3)=G12(L)
C
DO 13 I=1,3
DO 13 J=1,3
  DMATX(I,J)=0.0

```

13

CONTINUE

DO 50 I=1,3

DO 45 J=1,3

C

TETHA=A(L)/180*3.1415927

CC=COS(TETHA)

SS=SIN(TETHA)

$$C1(1,1) = (Q(1,1)*(CC**4)) + (2.0*(Q(1,2)+Q(3,3))*CC*CC$$

$$*SS*SS) + (Q(2,2)*(SS**4))$$

$$C1(1,2) = ((Q(1,1)+Q(2,2)-2.0*Q(3,3))*SS*SS*CC*CC)$$

$$+ (Q(1,2)*(CC**4+SS**4))$$

$$C1(1,3) = (Q(1,1)-Q(1,2)-Q(3,3))*SS*CC**3 +$$

$$((Q(1,2)-Q(2,2)+Q(3,3))*(SS**3)*CC)$$

$$C1(2,2) = (Q(1,1)*SS**4) + (2.0*Q(1,2)+Q(3,3))*CC*CC*SS*SS$$

$$+ (Q(2,2)*CC**4)$$

$$C1(2,3) = ((Q(1,1)-Q(1,2)-Q(3,3))*(SS**3)*CC) + ((Q(1,2)-Q(2,2)$$

$$+Q(3,3))*SS*(CC**3))$$

$$C1(3,3) = ((Q(1,1)+Q(2,2)-2.0*Q(1,2)-Q(3,3))*CC*CC*SS*SS)$$

$$+ (Q(3,3)*(CC**4+SS**4))$$

C1(2,1)=C1(1,2)

C1(3,1)=C1(1,3)

C1(3,2)=C1(2,3)

DMATX(I,J)=DMATX(I,J)+C1(I,J)*H1(L)

45 CONTINUE

50 continue

17 CONTINUE

C

RETURN

C

end

C

CALL MODps

C

THICK = PROP(LPROP,3)

C

C

>Inisialisasi Matrik Kekakuan Elemen

C

DO 22 IEVAB = 1,NEVAB

DO 22 JEVAB = 1,NEVAB

22 ESTIF(IEVAB,JEVAB) = 0.0

C

C

>ENTER LOOP UNTUK INTEGRASI NUMERIK

KGASP = 0

DO 445 IGAUS = 1,NGAUS

DO 445 JGAUS = 1,NGAUS

KGASP = KGASP+1

EXISP = POSGP(IGAUS)

ETASP = POSGP(JGAUS)

C

C

>MENGHITUNG SHAPE FUNCTION DAN VOLUME ELEMENTAL

CALL SFUNCT(EXISP,ETASP)

CALL JACOBN(JELEM,DJACM,KGASP)

DVOLU = DJACM*WEIGP(IGAUS)*WEIGP(JGAUS)


```

C      IF (THICK.NE.0.0) DVOLU=DVOLU*THICK
C
C      >MENGHITUNG MATRIK [B]
C      CALL BMATX
C
C      >MENGHITUNG MATRIK [D]*[B]
C      CALL DBE
C
C      >MENGHITUNG MATRIK KEKAKUAN ELEMEN
C      DO 35 IEVAB = 1,NEVAB
C      DO 35 JEVAB = IEVAB,NEVAB
C      DO 35 ISTRE = 1,NSTRE
35      ESTIF(IEVAB,JEVAB) = ESTIF(IEVAB,JEVAB) +
        .BMAT(ISTRE,IEVAB)*DBMAT(ISTRE,JEVAB)*DVOLU
C
C      >MENYIMPAN KOMPONEN MATRIK DB
C
C      DO 44 ISTRE=1,NSTRE
C      DO 44 JEVAB=1,NEVAB
C      SMAT(ISTRE,JEVAB,KGASP)=DBMAT(ISTRE,JEVAB)
C      WRITE(8,*)SMAT(ISTRE,JEVAB,KGASP)
44      CONTINUE
C
C      DO 101 IDIME = 1,NDIME
101      WRITE(10,100) GPCOD(IDIME,KGASP)
100      FORMAT(3X,E12.4)
445      CONTINUE
C
C      >Membentuk matrik lower triangle matrik kekakuan
C      )sehingga matrik kekakuan menjadi matrik symetri
C
C      DO 5 IEVAB = 1,NEVAB
C      DO 5 JEVAB = 1,NEVAB
C      ESTIF(JEVAB,IEVAB) = ESTIF(IEVAB,JEVAB)
5      CONTINUE
C
C      )Menulis matrik kekakuan
C
C      DO 8 IEVAB = 1,NEVAB
C      DO 8 JEVAB = 1,NEVAB
C      WRITE(2,*) ESTIF(IEVAB,JEVAB)
8      CONTINUE
C      PRINT *, 'LOOP OKE', JELE
7      CONTINUE
C
C      CLOSE(UNIT=2,STATUS='KEEP')
C      CLOSE(UNIT=10,STATUS='KEEP')
C      CLOSE(UNIT=8,STATUS='KEEP')
C      CLOSE(UNIT=13,STATUS='KEEP')
C      RETURN

```

END

C

C

C >FUNGSI BENTUK (SHAPE FUNCTION)

C

SUBROUTINE SFUNCT(S,T)

IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)

COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),

SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)

C

S2 = S*2.

T2 = T*2.

SS = S*S

TT = T*T

ST = S*T

SST = S*S*T

STT = S*T*T

ST2 = S*T*2.

C

C >FUNGSI BENTUK (SHAPE FUNCTION)

SHAPE(1) = (-1.+ST+SS+TT-SST-STT)/4.

SHAPE(2) = (1.-T-SS+SST)/2.

SHAPE(3) = (-1.-ST+SS+TT-SST+STT)/4.

SHAPE(4) = (1.+S-TT-STT)/2.

SHAPE(5) = (-1.+ST+SS+TT+SST+STT)/4.

SHAPE(6) = (1.+T-SS-SST)/2.

SHAPE(7) = (-1.-ST+SS+TT+SST-STT)/4.

SHAPE(8) = (1.-S-TT+STT)/2.

C

C >TURUNAN FUNGSI BENTUK (SHAPE FUNCTION)

C >TEHADAP KOORDINAT NATURAL

DERIV(1,1) = (T+S2-ST2-TT)/4.

DERIV(1,2) = (-S+ST)

DERIV(1,3) = (-T+S2-ST2+TT)/4.

DERIV(1,4) = (1.-TT)/2.

DERIV(1,5) = (T+S2+ST2+TT)/4.

DERIV(1,6) = (-S-ST)

DERIV(1,7) = (-T+S2+ST2-TT)/4.

DERIV(1,8) = (-1.+TT)/2.

DERIV(2,1) = (S+T2-SS-ST2)/4.

DERIV(2,2) = (-1.+SS)/2.

DERIV(2,3) = (-S+T2-SS+ST2)/4.

DERIV(2,4) = (-T-ST)

DERIV(2,5) = (S+T2+SS+ST2)/4.

DERIV(2,6) = (1.-SS)/2.

DERIV(2,7) = (-S+T2+SS-ST2)/4.

DERIV(2,8) = (-T+ST)

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

C

4

2

```

DO 6 IDIME = 1,NDIME
DO 6 INODE = 1,NNODE
CARTD(IDIME,INODE) = 0.
DO 6 JDIME = 1,NDIME
CARTD(IDIME,INODE) = CARTD(IDIME,INODE)+
.XJACIN(IDIME,JDIME)*DERIV(JDIME,INODE)
6 CONTINUE
7 FORMAT('*** ERROR *** program berhenti pada',
.' matrik Jacobian elemen nomor ',I3,/,
.' Jacobian =',F10.4)

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
C
C
C=====
C >Matrik STRAIN-DISPLASMEN
C=====
C

```

```

SUBROUTINE BMATX
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE
COMMON/DUA/PROP(2,4),COORD(250,2),MATND(100),LNODS(100,9),
NOFIX(100),IFPRE(100,2),PRESC(100,2)
COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),
SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)
COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
DMATX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)

```

```

C
NGASH = 0
DO 1 INODE = 1,NNODE
MGASH = NGASH + 1
NGASH = MGASH + 1
BMAT(1,MGASH) = CARTD(1,INODE)
BMAT(1,NGASH) = 0.0
BMAT(2,MGASH) = 0.0
BMAT(2,NGASH) = CARTD(2,INODE)
BMAT(3,MGASH) = CARTD(2,INODE)
BMAT(3,NGASH) = CARTD(1,INODE)

```

```

1 CONTINUE

```

```

C
RETURN
END

```

```

C
C=====
C >PERKALIAN MATRIK [B]*[D]
C=====
C

```

```

SUBROUTINE DBE

```



```

      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
         NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE
      COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
         DMATX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)

```

C

```

      DO 3 ISTRE = 1,NSTRE
      DO 2 IEVAB = 1,NEVAB
      DBMAT(ISTRE,IEVAB) = 0.
      DO 1 JSTRE = 1,NSTRE
      DBMAT(ISTRE,IEVAB) = DBMAT(ISTRE,IEVAB)+
         DMATX(ISTRE,JSTRE)*BMAT(JSTRE,IEVAB)

```

1 CONTINUE

2 CONTINUE

3 CONTINUE

C

RETURN

END

C

C

C

C

>PENYELESAIAN DENGAN TEKNIK FRONTAL

C

SUBROUTINE SOLVER

```

      IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
      COMMON/SATU/NELEM,NPOIN,NNODE,NDOFN,NVFIX,NMATS,NPROP,
         NDIME,NSTRE,NSTRA,NGAUS,NEVAB,NSVAB,NTYPE
      COMMON/DUA/PROP(2,4),COORD(250,2),MATNO(100),LNODS(100,9),
         NOFIX(100),IFPRE(100,2),PRESC(100,2)
      COMMON/TIGA/PRESS(3,2),ELOAD(100,18),POINT(5),PGASH(2),
         DGASH(2),NOPRS(3)
      COMMON/EMPAT/XJACM(3,3),XJACIN(3,3),ELCOD(3,9),CARTD(2,9),
         SHAPE(9),GPCOD(2,9),DERIV(2,9),SMAT(3,18,9),SRMAT(3,18,9)
      COMMON/ENAM/POSGP(3),WEIGP(3),ESTIF(18,18),
         DMATX(3,3),DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)
      COMMON/DELAPAN/ASDIS(3000)
      DIMENSION EQUAT(500),VECRV(500),GLOAD(500),NACVA(500),QUAT(500),
         IFFIX(6000),LOCEL(18),NDEST(18),FIXED(6000),GSTIF(6000)
      INTEGER*2 NFUNC,NGASH,NGISH,NLOCA

```

C

C

C

>TAMPILAN COVER RUNNING PROGRAM

NFUNC(J,K)=(K*2-K)/2+J

C

OPEN(UNIT=1,FILE='STIFF')

OPEN(UNIT=11,FILE='EQUAT')

C

IW=0

MFRON=20

MSTIF=210

C

C *** Menetapkan data terkekang dalam bentuk vektor

C

C

NTIME=10e+2

NTOTV=NPOIN*NDOFN

DO 100 ITOTV=1,NTOTV

IFFIX(ITOTV)=0

FIXED(ITOTV)=0.0

100

CONTINUE

DO 110 IVFIX=1,NVFIX

NLOCA=(NOFIX(IVFIX)-1)*NDOFN

DO 110 IDOFN=1,NDOFN

NGASH=NLOCA+IDOFN

IFFIX(NGASH)=IFPRE(IVFIX,IDOFN)

FIXED(NGASH)=PRESC(IVFIX,IDOFN)

110

CONTINUE

C

C GANTI TANDA NODE YANG TERAKHIR MUNCUL

C

DO 140 IPOIN=1,NPOIN

KLAST=0

DO 130 IELEM=1,NELEM

DO 120 INODE=1,NNODE

IF(LNODS(IELEM,INODE).NE.IPOIN)GOTO 120

KLAST=IELEM

NLAST=INODE

120

CONTINUE

130

CONTINUE

IF(KLAST.NE.0)LNODS(KLAST,NLAST)=-IPOIN

140

CONTINUE

C

C *** Inisialisasi pemberian harga nol

C

DO 150 ISTIF=1,MSTIF

GSTIF(ISTIF)=0.0

150

CONTINUE

DO 160 IFRON=1,MFRON

GLOAD(IFRON)=0.0

EQUAT(IFRON)=0.0

VEGRV(IFRON)=0.0

NACVA(IFRON)=0

160

CONTINUE

C

C *** Pembacaan data dari disc

C

REWIND 1


```

REWIND 1
REWIND 11
C
C *** Loop untuk proses penggabungan dan reduksi elemen
C
NFRON=0
KELVA=0
DO 380 IELEM=1,NELEM
KEVAB=0
DO 3 IEVAB = 1,NEVAB
DO 3 JEVAB = 1,NEVAB
3 READ(1,*) ESTIF(IEVAB,JEVAB)
PRINT*,CHAR(27),'[16;1H'
PRINT*,CHAR(27),'[0;47;1;34m'
WRITE(*,11)IELEM,NFRON
11 FORMAT(20X,'FRONTAL ELEMEN KE : ',I4,2X,'NFRON = ',I4)
DO 170 INODE=1,NNODE
DO 170 IDOFN=1,NDOFN
NPOSI=(INODE-1)*NDOFN+IDOFN
LOCNO=LNODS(IELEM,INODE)
IF(LOCNO.GT.0)LOCEL(NPOSI)=(LOCNO-1)*
.NDOFN+IDOFN
IF(LOCNO.LT.0)LOCEL(NPOSI)=(LOCNO+1)*
.NDOFN-IDOFN
170 CONTINUE
C
C*** Mencari arah tujuan
C
DO 210 IEVAB=1,NEVAB
NIKNO=IABS(LOCEL(IEVAB))
KEXIS=0
DO 180 IFRON=1,NFRON
IF(NIKNO.NE.NACVA(IFRON))GOTO 180
KEVAB=KEVAB+1
KEXIS=1
NDEST(KEVAB)=IFRON
180 CONTINUE
IF(KEXIS.NE.0)GOTO 210
C
C *** Mencari tempat kosong untuk vektor tujuan
C
DO 190 IFRON=1,MFRON
IF(NACVA(IFRON).NE.0)GOTO 190
NACVA(IFRON)=NIKNO
KEVAB=KEVAB+1
NDEST(KEVAB)=IFRON
GOTO 200
190 CONTINUE
C
C *** Pertambahan tempat baru dalam frontwidth
C

```

```

200 IF(NDEST(KEVAB).GT.NFRON)NFRON=NDEST(KEVAB)
   PRINT*,CHAR(27),'[16;1H'
   PRINT*,CHAR(27),'[0;47;1;34m'
   WRITE(*,12)IELEM,NFRON
12  FORMAT(20X,'FRONTAL ELEMEN KE : ',I4,2X,'NFRON = ',I4)
210 CONTINUE

```

```

C
C *** Assembly matrik elemen beban
C
   DO 240 IEVAB=1,NEVAB
   IDEST=NDEST(IEVAB)
   GLOAD(IDEST)=GLOAD(IDEST)+ELOAD(IELEM,IEVAB)
C
C *** Assembly matrik kekakuan elemen tapi tidak keseluruhan
C

```

```

   DO 220 JEVAB=1,IEVAB
   JDEST=NDEST(JEVAB)
   NGASH=NFUNC(IDEST,JDEST)
   NGISH=NFUNC(JDEST,IDEST)
   IF(JDEST.GE.IDEST)THEN
   GSTIF(NGASH)=GSTIF(NGASH)+ESTIF(IEVAB,JEVAB)
   ELSE
   GSTIF(NGISH)=GSTIF(NGISH)+ESTIF(IEVAB,JEVAB)
   ENDIF
220 CONTINUE
240 CONTINUE

```

```

C
C *** Meneliti simpul elemen untuk mencari
C      yang bisa dieliminasi
C

```

```

   DO 370 IEVAB=1,NEVAB
   NIKNO=-LOCEL(IEVAB)
   IF(NIKNO.LE.0)GOTO 370

```

```

C *** Menentukan posisi variabel untuk dieliminasi
C

```

```

   DO 350 IFRON=1,NFRON
   IF(NACVA(IFRON).NE.NIKNO)GOTO 350

```

```

C *** Menentukan variabel persamaan baru untuk eliminasi
C

```

```

   DO 250 JFRON=1,MFRON
   IF(IFRON.LT.JFRON)NLOCA=NFUNC(IFRON,JFRON)
   IF(IFRON.GE.JFRON)NLOCA=NFUNC(JFRON,IFRON)

```

```

   EQUAT(JFRON)=GSTIF(NLOCA)
250 GSTIF(NLOCA)=0.0

```

```

C *** Menetapkan persamaan yang bersesuaian dengan sisi kanan
C

```



```

EQRHS=GLOAD(IFRON)
GLOAD(IFRON)=0.0
KELVA=KELVA+1
C
C *** Menulis persamaan pada disc
C
DO 777 LFRON=1,MFRON
C
WRITE(*,99)EQUAT(LFRON)
WRITE(11,99)EQUAT(LFRON)
99 FORMAT(F25.4)
777 CONTINUE
WRITE(11,77)EQRHS
77 FORMAT(4X,F16.4)
WRITE(11,888)IFRON,NIKNO
888 FORMAT(I5,4X,I5)
PRINT*,CHAR(27),'[2;1H'
PRINT*,CHAR(27),'[0;47;1;34m'
IW=IW+1
WRITE(*,33)IW
33 FORMAT(34X,'IW = ',I5)
C
C *** Menentukan pivot
C
PIVOT=EQUAT(IFRON)
EQUAT(IFRON)=0.0
C
C *** Meneliti variabel yang ada sekarang terkekang atau bebas
C
IF(IFFIX(NIKNO).EQ.0)GOTO 300
C
C *** Menentukan harga defleksi
C
DO 290 JFRON=1,NFRON
290 GLOAD(JFRON)=GLOAD(JFRON)-FIXED(NIKNO)*EQUAT(JFRON)
GOTO 340
C
C *** Eliminasi variabel bebas pada sisi sebelah kanan
C
300 DO 330 JFRON=1,NFRON
C
IF(PIVOT.LT.0.5D-50)THEN
C
IF(PIVOT.GT.-0.5D-50)THEN
C
PIVOT=0.5D-50
C
GLOAD(JFRON)=GLOAD(JFRON)-EQUAT(JFRON)*EQRHS/PIVOT
C
GOTO 3333
C
ENDIF
C
ENDIF
3333 GLOAD(JFRON)=GLOAD(JFRON)-EQUAT(JFRON)*EQRHS/PIVOT
C
C *** Deal with the coefficient in core
C
IF(EQUAT(JFRON).EQ.0.0)GOTO 330
NLOCA=NFUNC(0,JFRON)
DO 310 LFRON=1,JFRON
NGASH=LFRON+NLOCA
C
C
IF(PIVOT.LT.0.5D-50)THEN

```

```

ENDFILE (11)
BACKSPACE 11
READ(11,99)QUAT(KFRON)
LFRON=MFRON-LF
EQUAT(LFRON)=QUAT(KFRON)
LF=LF+1
BACKSPACE 11
555 CONTINUE
C
C *** Mempersiapkan Substitusi Balik dari pers. yang ada
C
PIVOT=EQUAT(IFRON)
IF(IFFIX(NIKNO).EQ.1)VECRV(IFRON)=FIXED(NIKNO)
IF(IFFIX(NIKNO).EQ.0)EQUAT(IFRON)=0.0
C
C *** Substitusi Balik
C
DO 400 JFRON=1,MFRON
400 EQRHS=EQRHS-VECRV(JFRON)*EQUAT(JFRON)
C
C *** Menempatkan nilai akhir
C IF(PIVOT.LT.0.5D-50)THEN
C IF(PIVOT.GT.-0.5D-50)THEN
C PIVOT=0.5D-50
C IF(IFFIX(NIKNO).EQ.0)VECRV(IFRON)=EQRHS/PIVOT
C GOTO 3110
C ENDIF
C ENDIF
C
3110 IF(IFFIX(NIKNO).EQ.0)VECRV(IFRON)=EQRHS/PIVOT
IF(IFFIX(NIKNO).EQ.1)FIXED(NIKNO)=-EQRHS
ASDIS(NIKNO)=VECRV(IFRON)
KC=KC+1
PRINT*,CHAR(27),'[5;1H'
WRITE(*,98)KC
98 FORMAT(30X,'BACKSPACE = ',I5)
ENDFILE (11)
410 CONTINUE
WRITE(7,7)
7 FORMAT(///,
'*****',/,
.11X,'Displasmen Simpul',/,
'*****',/,
.3X,'No.Simpul',8X,'Disp1-X',8X,'Disp1-Y')
C
DO 450 IPOIN=1,NPOIN
NGASH=IPOIN*NDOFN
NGISH=NGASH-NDOFN+1
C DO 999 IGASH=NGISH,NGASH
C ASDIS(IGASH)=ASDIS(IGASH)*NTIME

```



```
C 999 CONTINUE
WRITE(7,8) IPOIN, (ASDIS(IGASH), IGASH=NGISH, NGASH)
```

```
88 FORMAT(3X, I3, 8X, 2(E15.5, 1X))
```

```
450 CONTINUE
```

```
C
```

```
C *** Mencetak hasil Gaya Reaksi
```

```
C
```

```
WRITE(7,8)
```

```
8 FORMAT(//,
```

```
.'*****',
```

```
.15X, 'Gaya Reaksi',
```

```
.'*****',
```

```
.3X, 'No.Simpul', 8X, 'Gaya-X', 8X, 'Gaya-Y')
```

```
DO 510 IPOIN=1, NPOIN
```

```
NLOCA=(IPOIN-1)*NDOFN
```

```
DO 490 IDOFN=1, NDOFN
```

```
NGUSH=NLOCA+IDOFN
```

```
IF (IFFIX(NGUSH).GT.0) GOTO 500
```

```
490 CONTINUE
```

```
GOTO 510
```

```
500 NGASH=NLOCA+NDOFN
```

```
NGISH=NLOCA+1
```

```
WRITE(7,9) IPOIN, (FIXED(IGASH), IGASH=NGISH, NGASH)
```

```
9 FORMAT(3X, I3, 8X, 2(E15.5, 1X))
```

```
510 CONTINUE
```

```
C
```

```
C *** Mereset semua nomor elemen menjadi bernilai positif
```

```
C
```

```
DO 520 IELEM=1, NELEM
```

```
DO 520 INODE=1, NNODE
```

```
LNODS(IELEM, INODE)=IABS(LNODS(IELEM, INODE))
```

```
520 CONTINUE
```

```
C
```

```
CLOSE(UNIT=1, STATUS='KEEP')
```

```
C
```

```
CLOSE(UNIT=11, STATUS='DELETE')
```

```
RETURN
```

```
END
```

```
C
```

```
C
```

```
C
```

```
>TEGANGAN PADA GAUSS POINT
```

```
C
```

```
SUBROUTINE STR
```

```
IMPLICIT DOUBLE PRECISION (A-H,O-Z)
```

```
COMMON/SATU/NELEM, NPOIN, NNODE, NDOFN, NVFIX, NMATS, NPROP,
```

```
NDIME, NSTRE, NSTRA, NGAUS, NEVAB, NSVAB, NTYPE
```

```
COMMON/DUA/PROP(2,4), COORD(250,2), MATNO(100), LNODS(100,9),
```

```
NOFIX(100), IFPRE(100,2), PRESC(100,2)
```

```
COMMON/EMPAT/XJACM(3,3), XJACIN(3,3), ELCOD(3,9), CARTD(2,9),
```

```
SHAPE(9), GPCOD(2,9), DERIV(2,9), SMAT(8,18,19)
```

```
COMMON/ENAM/POSGP(3), WEIGP(3), ESTIF(18,18),
```

```

      DMTX(3,3),,DBMAT(3,18),BMAT(3,18),BSMAT(3,18,9)
COMMON/DELAPAN/ASDIS(3000)
COMMON/TUJUH/STRSP(4),ELDIS(2,8),STRGP(4)
C
OPEN(UNIT=1,FILE='STIFF')
OPEN(UNIT=8,FILE='STRSS')
OPEN(UNIT=10,FILE='GPOINT')
REWIND 1
REWIND 8
REWIND 10
C
STRSGP=4
WRITE(7,11)
11 FORMAT(/, '*****', /,
.4X, '          TEGANGAN          ', /,
. '*****')
C
C >IDENTIFIKASI ELEMEN
C
DO 70 JELEM = 1,NELEM
WRITE(7,13)JELEM
13 FORMAT(/,5X,'ELEMEN NO : ',I5,/,
.1X,'GP',2X,'X-COORD',2X,'Y-COORD',6X,'TEG-X',8X,'TEG-Y',
.8X,'TEG-XY',7X,'TEG-Z',\))
WRITE(7,19)
19 FORMAT(8X,'TEG-MAKS',3X,'TEG-MIN',6X,'SUDUT',/)
C
LPROP = MATNO(JELEM)
C
YOUNG = PROP(LPROP,1)
C
POISS = PROP(LPROP,2)
C
DO 30 INODE = 1,NNODE
LNODE = LNODS(JELEM,INODE)
NPOSN = (LNODE-1)*NDOFN
DO 30 IDOFN = 1,NDOFN
NPOSN = NPOSN+1
ELDIS(IDOFN,INODE) = ASDIS(NPOSN)
30 CONTINUE
C
C >MENENTUKAN ELEMEN YANG DICARI TEGANGANNYA
KGASP = 0
DO 60 IGAUS = 1,NGAUS
DO 60 JGAUS = 1,NGAUS
KGASP = KGASP+1
EXISP = POSGP(IGAUS)
ETASP = POSGP(JGAUS)
C
C >MENENTUKAN MATRIK TEGANGAN
C
DO 40 ISTRE = 1,NSTRE
STRGP(ISTRE) = 0.0

```



```

      KGASH = 0
C
C      >MENENTUKAN TEGANGAN DAN REGANGAN RESULTAN
      DO 40 INODE = 1,NNODE
      DO 40 IDOFN = 1,NDOFN
      KGASH = KGASH+1
      READ(8,*)SMAT(ISTRE,KGASH,KGASP)
      STRGP(ISTRE) = STRGP(ISTRE)+
      .SMAT(ISTRE,KGASH,KGASP)*ELDIS(IDOFN,INODE)
      STRGP(ISTRE)=STRGP(ISTRE)*STRSGP
40    CONTINUE
C      IF (NTYPE.EQ.2) THEN
C      STRGP(4) = POISS*(STRGP(1)+STRGP(2))
C      ELSE
C      STRGP(4) = 0.0
C      ENDIF
C
      DO 101 IDIME = 1,NDIME
101    READ(10,100) GPCOD(IDIME,KGASP)
100    FORMAT(3X,E12.4)
C
C      >MENENTUKAN TEGANGAN UTAMA
C
      XGASH=(STRGP(1)+STRGP(2))*0.5
      XGISH=(STRGP(1)-STRGP(2))*0.5
      XGESH=STRGP(3)
      XGOSH=SQRT(XGISH*XGISH+XGESH*XGESH)
      STRSP(1)=XGASH+XGOSH
      STRSP(2)=XGASH-XGOSH
      IF(XGISH.EQ.0.0)XGISH=0.1E-20
      STRSP(3)=ATAN(XGESH/XGISH)*28.647889757
C
C      >MENCETAK HASIL TEGANGAN UTAMA
C
      WRITE(7,12)KGASP,(GPCOD(IDIME,KGASP),IDIME=1,NDIME),
      .(STRGP(ISTRA),ISTRA=1,NSTRA)
12    FORMAT(I3,2F9.4,2X,4(E12.5,1X),\ )
      WRITE(7,14)(STRSP(ISTRE),ISTRE=1,NSTRE)
14    FORMAT(2X,3(F14.4,1X))
60    CONTINUE
70    CONTINUE
C
      CLOSE(UNIT=8,STATUS='DELETE')
      CLOSE(UNIT=1,STATUS='DELETE')
      CLOSE(UNIT=10,STATUS='DELETE')
C      CLOSE(UNIT=5,STATUS='DELETE')
      RETURN
      END
C

```

```

C
C  >SUB PROGRAM TAMPILAN HASIL
C
SUBROUTINE HEAD
WRITE(7,222)
222  FORMAT(///25X,'LABORATORIUM KOMPUTASI',
        . /23X,'FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN',
        . /15X,'INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA',
        . /33X,'1992',
        . /10X,53('_'))
WRITE(7,111)
111  FORMAT(//26X,'TUGAS AKHIR (TL.1701)',
        . ///16X,'          ANALISA',
        . /16X,'          STRUKTUR PELAT',
        . /16X,'          KOMPOSIT')
WRITE(7,311)
311  FORMAT(/10X,53('_'),
        . //11X,'DIKERJAKAN OLEH : SUGENG PRAMONO ',
        . /10X,' Nrp          : 4864300086 ',
        . /10X,' DOSEN PEMBIMBING : Ir. HANDAYANU MSc ',
        . /10X,53('_'))
C
RETURN
END

```


0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00
 0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00
 ELEMEN NOMOR 3
 0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00
 0.00E+000.60E+030.00E+000.50E+030.00E+000.75E+030.00E+000.00E+00
 ELEMEN NOMOR 4
 0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00
 0.00E+000.80E+030.00E+000.70E+030.00E+000.60E+030.00E+000.00E+00

Displasmen Simpul

No.Simpul	Displ-X	Displ-Y
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00
6	-0.16502E-06	0.52398E-06
7	0.99093E-07	0.23438E-06
8	-0.15119E-06	0.59772E-06
9	-0.37556E-06	0.69860E-06
10	-0.28325E-06	0.52282E-06
11	-0.39386E-06	0.80834E-06
12	-0.31167E-06	0.87734E-06
13	-0.25752E-06	0.84055E-06
14	-0.22509E-07	0.58777E-06
15	-0.19470E-06	0.12003E-05
16	-0.12431E-06	0.10851E-05
17	-0.69111E-06	0.75493E-06
18	-0.87712E-06	0.15823E-05
19	-0.55472E-06	0.13563E-05
20	-0.56623E-06	0.15724E-05
21	-0.33989E-06	0.14740E-05

Gaya Reaksi

No.Simpul	Gaya-X	Gaya-Y
1	-0.19217E+03	-0.71537E+03
2	-0.80039E+03	-0.92041E+03
3	0.11388E+03	-0.30122E+03
4	0.62557E+03	-0.13749E+04
5	0.25312E+03	-0.63814E+03

Struktural Parameter

total jumlah elemen dalam struktur : 4
total jumlah simpul dalam struktur : 21
jumlah titik simpul terkekang : 5
jumlah simpul per elemen : 8
jumlah derajat kebebasan per titik simpul : 2
jumlah komponen tegangan per titik simpul : 3

Element Conectivity

Nomor Elemen	Urutan	Nomor Simpul							
1	1	2	3	7	11	10	9	6	
2	3	4	5	8	13	12	11	7	
3	9	10	11	15	19	18	17	14	
4	11	12	13	16	21	20	19	15	

Simpul Terkekang

No.Simpul	Code	Nilai Kekangan	
1	1 1	0.0000	0.0000
2	1 1	0.0000	0.0000
3	1 1	0.0000	0.0000
4	1 1	0.0000	0.0000
5	1 1	0.0000	0.0000

Beban Terpusat = 1

Beban Merata = 0

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
17	0.000	750.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
18	0.000	500.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
19	0.000	600.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
20	0.000	700.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
21	0.000	800.000

Beban Simpul Ekvivalen

ELEMEN NOMOR 1

0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00

0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+00

ELEMEN NOMOR 2

VERIFIKASI

JOINT DISPLACEMENTS

LOAD CONDITION 1 - DISPLACEMENTS "U" AND ROTATIONS "R"

JOINT	U(Y)	U(Z)
1	.000000	.000000
2	.000000	.000000
3	.000000	.000000
4	.000000	.000000
5	.000000	.000000
6	-.5261E-06	.4021E-06
7	-.5279E-06	.3764E-06
8	-.5358E-06	.3789E-06
9	-.1059E-05	.8506E-06
10	-.1049E-05	.7435E-06
11	-.1043E-05	.7328E-06
12	-.1047E-05	.7482E-06
13	-.1050E-05	.7507E-06
14	-.1541E-05	.1384E-05
15	-.1539E-05	.1085E-05
16	-.1559E-05	.1127E-05
17	-.1958E-05	.2032E-05
18	-.1938E-05	.1542E-05
19	-.1936E-05	.1383E-05
20	-.1965E-05	.1403E-05
21	-.2028E-05	.1498E-05

LOAD CONDITION 1 - FORCES "F" AND MOMENTS "M"

JOINT	F(Y)	F(Z)
1	172.3002	-203.9723
2	-25.5958	-946.6505
3	-354.9854	-823.2356
4	199.4798	-1097.6879
5	8.8012	-278.4536
6	-.1090E-10	-.1025E-10
7	.1151E-10	.1347E-10
8	-.1302E-10	-.2299E-10
9	-.1370E-10	.1938E-10
10	-.4582E-10	-.1148E-10
11	-.2635E-10	.2098E-10
12	.9673E-10	-.5457E-11
13	.3921E-10	-.2956E-11
14	-.1250E-10	.2960E-10
15	-.1103E-09	-.1090E-10
16	-.2393E-10	.5304E-11
17	.0000	750.0000
18	.0000	500.0000
19	.0000	600.0000
20	.0000	700.0000
21	.0000	800.0000
TOTAL	.1634E-09	-.2001E-09

Struktural Parameter

total jumlah elemen dalam struktur : 4
total jumlah simpul dalam struktur : 21
jumlah titik simpul terkekang : 5
jumlah simpul per elemen : 8
jumlah derajat kebebasan per titik simpul : 2
jumlah komponen tegangan per titik simpul : 3

Element Conectivity

Nomor Elemen	Urutan Nomor Simpul							
1	1	2	3	7	11	10	9	6
2	3	4	5	8	13	12	11	7
3	9	10	11	15	19	18	17	14
4	11	12	13	16	21	20	19	15

Simpul Terkekang

No.Simpul	Code	Nilai Kekangan	
1	1 1	0.0000	0.0000
2	1 1	0.0000	0.0000
3	1 1	0.0000	0.0000
4	1 1	0.0000	0.0000
5	1 1	0.0000	0.0000

Beban Terpusat = 1

Beban Merata = 0

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
17	0.000	750.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
18	0.000	500.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
19	0.000	600.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
20	0.000	700.000

NO. SIMPUL	gy-X	gy-Y
21	0.000	800.000

Beban Simpul Ekuivalen

ELEMEN NOMOR 1

0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000
0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000

ELEMEN NOMOR 2

0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000
0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000

ELEMEN NOMOR 3

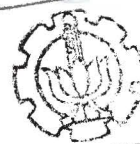
0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000
0.00E+000.60E+030.00E+000.50E+030.00E+000.75E+030.00E+000.00E+000.00E+000

ELEMEN NOMOR 4

0.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000.00E+000
0.00E+000.80E+030.00E+000.70E+030.00E+000.60E+030.00E+000.00E+000.00E+000

Displasmen Simpul

No.Simpul	Disp1-X	Disp1-Y
1	0.00000E+00	0.00000E+00
2	0.00000E+00	0.00000E+00
3	0.00000E+00	0.00000E+00
4	0.00000E+00	0.00000E+00
5	0.00000E+00	0.00000E+00
6	-0.16502E-06	0.52398E-06
7	0.99093E-07	0.23438E-06
8	-0.15119E-06	0.59772E-06
9	-0.37556E-06	0.69860E-06
10	-0.28325E-06	0.52282E-06
11	-0.39386E-06	0.80834E-06
12	-0.31167E-06	0.87734E-06
13	-0.25752E-06	0.84055E-06
14	-0.22509E-07	0.58777E-06
15	-0.19470E-06	0.12003E-05
16	-0.12431E-06	0.10851E-05
17	-0.69111E-06	0.75493E-06
18	-0.87712E-06	0.15823E-05
19	-0.55472E-06	0.13563E-05
20	-0.56623E-06	0.15724E-05
21	-0.33989E-06	0.14740E-05



MILIK PERPUSTAKAAN
INSTITUT TEKNOLOGI
SEPULUH - NOPEMBER

Gaya Reaksi

No.Simpul	Gaya-X	Gaya-Y
1	-0.19217E+03	-0.71537E+03
2	-0.80039E+03	-0.92041E+03
3	0.11388E+03	-0.30122E+03
4	0.62557E+03	-0.13749E+04
5	0.25312E+03	-0.63814E+03

TEGANGAN

ELEMEN NO : 1

GP	X-COORD	Y-COORD	TEG-X	TEG-Y	TEG-XY	TEG-Z
1	0.2254	0.2254	0.32182E+06	0.14786E+07	0.19546E+06	0.00000E+00
2	0.2254	1.0000	-0.28215E+06	0.10765E+07	0.58591E+06	0.00000E+00
3	0.2254	1.7750	-0.94301E+06	0.48257E+06	0.49112E+06	0.00000E+00
4	1.0000	0.2254	0.67912E+06	0.77476E+06	0.17767E+06	0.00000E+00
5	1.0000	1.0000	-0.27960E+05	0.85603E+06	0.37113E+06	0.00000E+00
6	1.0000	1.7750	-0.79193E+06	0.74534E+06	0.79348E+05	0.00000E+00
7	1.7750	0.2254	0.10057E+07	0.44229E+06	0.14989E+06	0.00000E+00
8	1.7750	1.0000	0.19552E+06	0.10069E+07	0.14636E+06	0.00000E+00
9	1.7750	1.7750	-0.67156E+06	0.13794E+07	-0.34241E+06	0.00000E+00

ELEMEN NO : 2

GP	X-COORD	Y-COORD	TEG-X	TEG-Y	TEG-XY	TEG-Z
1	2.2250	0.2254	0.96055E+06	0.51247E+06	-0.11957E+06	0.00000E+00
2	2.2250	1.0000	0.10696E+06	0.98407E+06	-0.35560E+06	0.00000E+00
3	2.2250	1.7750	-0.57721E+06	0.16794E+07	-0.20697E+05	0.00000E+00
4	3.0000	0.2254	0.68208E+06	0.11278E+07	-0.15544E+06	0.00000E+00
5	3.0000	1.0000	0.52830E+05	0.10307E+07	-0.39175E+06	0.00000E+00
6	3.0000	1.7750	-0.40700E+06	0.11572E+07	-0.57121E+05	0.00000E+00
7	3.7750	0.2254	0.33970E+06	0.16580E+07	-0.19278E+06	0.00000E+00
8	3.7750	1.0000	-0.65216E+05	0.99202E+06	-0.42937E+06	0.00000E+00
9	3.7750	1.7750	-0.30071E+06	0.54984E+06	-0.95013E+05	0.00000E+00

ELEMEN NO : 3

GP	X-COORD	Y-COORD	TEG-X	TEG-Y	TEG-XY	TEG-Z
1	0.2254	2.2250	0.16478E+07	0.15648E+06	0.22743E+06	0.00000E+00
2	0.2254	3.0000	0.35514E+06	0.31723E+06	-0.59491E+06	0.00000E+00
3	0.2254	3.7750	-0.82370E+06	0.64047E+06	-0.10031E+07	0.00000E+00
4	1.0000	2.2250	0.18243E+07	0.13241E+07	-0.71657E+05	0.00000E+00
5	1.0000	3.0000	0.27692E+06	0.13208E+07	-0.27054E+06	0.00000E+00
6	1.0000	3.7750	-0.11566E+07	0.14800E+07	-0.55335E+05	0.00000E+00
7	1.7750	2.2250	0.21445E+07	0.12725E+07	-0.33568E+06	0.00000E+00
8	1.7750	3.0000	0.34245E+06	0.11052E+07	0.88880E+05	0.00000E+00
9	1.7750	3.7750	-0.13457E+07	0.11004E+07	0.92753E+06	0.00000E+00

ELEMEN NO : 4

GP	X-COORD	Y-COORD	TEG-X	TEG-Y	TEG-XY	TEG-Z
1	2.2250	2.2250	0.19979E+07	0.12652E+07	0.22596E+06	0.00000E+00
2	2.2250	3.0000	0.15967E+06	0.75033E+06	-0.14510E+06	0.00000E+00
3	2.2250	3.7750	-0.10426E+07	0.30974E+06	-0.29684E+06	0.00000E+00
4	3.0000	2.2250	0.13306E+07	0.10888E+07	0.19899E+06	0.00000E+00
5	3.0000	3.0000	-0.25702E+05	0.97374E+06	0.81163E+05	0.00000E+00
6	3.0000	3.7750	-0.74605E+06	0.93289E+06	0.18266E+06	0.00000E+00
7	3.7750	2.2250	0.84279E+06	0.74460E+06	0.18530E+06	0.00000E+00
8	3.7750	3.0000	-0.31570E+05	0.10292E+07	0.32072E+06	0.00000E+00
9	3.7750	3.7750	-0.26997E+06	0.13881E+07	0.67546E+06	0.00000E+00

Tegangan antara Orientasi Serat 30 dan 45 derajat

